



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

THIAGO QUEIROZ COSTA

**UMA ABORDAGEM ATOR-REDE ACERCA DA
IMPLEMENTAÇÃO DE UM EXPERIMENTO
NO ENSINO DE FÍSICA**

THIAGO QUEIROZ COSTA

**UMA ABORDAGEM ATOR-REDE ACERCA DA
IMPLEMENTAÇÃO DE UM EXPERIMENTO
NO ENSINO DE FÍSICA**

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Londrina.

Orientador: Prof. Dr. Sergio de Mello Arruda

Londrina
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

C837a Costa, Thiago Queiroz .

Uma abordagem ator-rede acerca da implementação de um experimento no ensino de física / Thiago Queiroz Costa. - Londrina, 2023.
101 f. : il.

Orientador: Sergio de Mello Arruda.

Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, 2023.

Inclui bibliografia.

1. Teoria Ator-Rede - Tese.
 2. Mediação técnica - Tese.
 3. Experimento - Tese.
 4. Ensino de física - Tese.
- I. Arruda, Sergio de Mello. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. III. Título.

CDU 50

THIAGO QUEIROZ COSTA

**UMA ABORDAGEM ATOR-REDE ACERCA DA
IMPLEMENTAÇÃO DE UM EXPERIMENTO
NO ENSINO DE FÍSICA**

Tese apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática do Centro de Ciências Exatas da Universidade Estadual de Londrina.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Sergio de Mello Arruda
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Prof. Dr. Hugo Emmanuel da Rosa Côrrea
Instituto Federal do Paraná – IFPR

Prof. Dr. Thomas Barbosa Fejolo
Instituto Federal do Rio de Janeiro – IFRJ

Prof.^a Dr. João Paulo Camargo Lima
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná – UTFPR

Prof.^a Dr.^a Martinez Meneghelli Passos
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 10 de março de 2023.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa, Adriana, que por muitos e muitos anos têm sido a sustentação das redes às quais nos associamos ao longo da trilha da vida.

Ao professor Sergio, por ter me aceitado como orientando ainda no mestrado e, principalmente, por compartilhar um pouco de seu conhecimento e criatividade ao longo do processo de formação de um “futuro” pesquisador. Agradeço ainda por ele ser um exemplo de profissional empenhado e dedicado e, ao mesmo tempo, um exemplo de humildade e generosidade dedicada aos seus estudantes. Isso me inspira na busca por ser um ator central no campo da pesquisa e do ensino em Física, assim como ele.

À professora Martinez que, com sua gentileza e capacidade criativa e em estreita conexão — epistêmica, social e pessoal — com o professor Sergio, auxiliou sobremaneira todo o meu processo formativo e me inspira a ser melhor em todos os detalhes desta “vida acadêmica”.

Agradeço também aos colegas membros do Grupo de Pesquisa Educação em Ciências e Matemática (EDUCIM), que auxiliaram a moldar esta investigação. Agradeço sobretudo àqueles que, assim como eu, resolveram entrar no caminho (algumas vezes tortuoso) de Bruno Latour, em especial à Amanda, ao Jayme, à Gabriela, à Marcela, ao Hugo e ao Thomas.

É necessário deixar um espaço de agradecimento destacado ao Hugo, pois quando entrei nessa temática de pesquisa, compartilhei com ele muitas e muitas incertezas a respeito desta pesquisa. De maneira sempre generosa, ele me auxiliou de forma ímpar na consolidação da tese; ao fim dela, agradeço ao Hugo pela participação enquanto membro das bancas de qualificação e defesa. Assim como o caso do Hugo, agradeço ao professor Thomas pelo compartilhamento de textos, ideias e incertezas ao longo do desenvolvimento da minha tese. Agradeço, especialmente, pelas considerações e pelo auxílio que ele ofereceu nas etapas de qualificação e defesa.

Faço um agradecimento especial à professora Fabiele, pelo acompanhamento da investigação ao longo das apresentações que realizei no EDUCIM e, agora, pelas contribuições para a melhoria da tese nas etapas de qualificação e defesa por meio da sua leitura cuidadosa e criteriosa. Ainda, sua dedicação ao ensino e à pesquisa na universidade são fonte de inspiração para mim.

Agradeço à oportunidade oferecida pelos professores que implementaram o mestrado profissional em Física na Universidade Estadual de Londrina (UEL), ainda no ano de 2013, pois foi ali que “tudo” começou na minha recente carreira de pesquisador. Do mesmo modo, agradeço aos colegas professores-cursistas que compartilharam esse curso comigo.

Um agradecimento especial ao Instituto Federal do Paraná (IFPR) e à possibilidade de realizar parte do doutorado com licença para capacitação. Agradeço também aos amigos professores do grupo dos “afastados” para realização do doutorado pelo compartilhamento de ideias e pelos momentos de descontração.

Em especial, agradeço ao amigo Anacreone, pela leitura e pela contribuição sobre as células fotovoltaicas, e ao Henrique Neto, pelo compartilhamento de textos, artigos, ideias, leituras críticas e, principalmente, por compartilhar seu conhecimento a respeito da temática latouriana ao longo desta investigação.

Por fim, faço um agradecimento especial aos alunos e licenciandos que compartilharam comigo as aulas analisadas nesta investigação. Em especial, agradeço ao Usley e ao Guilherme Penha, pela parceria na construção de experimentos no período em que foram meus bolsistas

“Tenho paixão por laboratórios! Juro a você que quando entro em um laboratório, de qualquer disciplina, ainda que seja por um minuto, meu coração acelera. Não há nada mais apaixonante, mais comovente”.

Bruno Latour

RESUMO

COSTA, Thiago Queiroz. **Uma abordagem ator-rede acerca da implementação de um experimento no ensino de física.** 2023. 101 f . Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

A presente investigação se insere na problematização de um experimento no ensino de Física. Para isso, assume a Teoria Ator-Rede (ANT), de Bruno Latour, como uma via teórico-metodológica alinhada à pesquisa em Educação em Ciências, sobretudo por compreender os objetos como atores completos. Assim, buscou compreender como os atores humanos e não humanos se associaram no processo de construção e uso de um experimento didático de Física e quais são os efeitos dessa associação no ensino em dois contextos particulares: o Ensino Médio e um curso de Licenciatura em Física. Para cumprir tal objetivo, o pesquisador se propôs a investigar a sua própria prática docente. Assim, ao participar da agência da ANT, como um híbrido entre teoria, método e objeto de pesquisa, permitiu-se inserir nas redes e descrever as associações a partir dos ambientes em que as atividades se efetivaram. Dessa forma, os dados coletados se referem, principalmente, às transcrições das conversas entre o pesquisador e outros actantes, complementadas por documentos pessoais do investigador, o que permitiu melhor caracterizar as situações a partir da perspectiva de um agente que participou delas. Aliado a isso, a apresentação dos dados ocorreu de forma descritiva dentro de uma estrutura narrativa, buscando-se descrever, cronologicamente, a construção das redes e as negociações realizadas a partir da perspectiva dos próprios atores, evidenciando as linguagens e os conceitos por eles utilizados. Mediante essa trilha investigativa, o repertório da mediação técnica revelou o caráter simétrico dos processos educativos analisados, pois uma variedade de entidades sociais e naturais entraram em cena, mesclando-se constantemente, resultando na formação de um híbrido, denominado de “professor-experimento”. Ao acompanhar a atuação desse actante, por meio da análise de suas performances, foi possível evidenciar que elas buscavam corporificar e apresentar evidências coletivas a respeito do fenômeno conhecido como efeito fotovoltaico. Ademais, no contexto da licenciatura em Física, as performances buscavam estimular, majoritariamente, o emprego de experimentos com materiais alternativos e/ou de baixo custo na Educação Básica. Assim, direcionar um olhar analítico para práticas experimentais nos contextos do ensino de Física a partir da abordagem da Teoria Ator-Rede forneceu pistas sobre como vislumbrar uma educação menos antropocêntrica, viabilizando uma compreensão mais profunda da relação humano/não humano enquanto aspecto central desses processos educativos.

Palavras-chave: Teoria Ator-Rede. Mediação técnica. Experimento. Ensino de Física. Performance.

ABSTRACT

COSTA, Thiago Queiroz. **An actor-network approach to the implementation of an experiment in Physics Teaching.** 2023. 101 p. Thesis (Doctorate in Science Teaching and Mathematical Education) – State University of Londrina, Londrina, 2023.

The present investigation is inserted in the problematization of an experiment in Physics Teaching. For this, it assumes Bruno Latour's Actor-Network Theory (ANT) as a theoretical and methodological path aligned with research in Science Education, especially by understanding objects as complete actors. Thus, it sought to understand how human and non-human actors were associated in the process of construction and use of a Physics didactic experiment and what are the effects of this association on teaching in two particular contexts: High School and a Physics Licentiate Degree course. To accomplish this goal, the researcher set out to investigate his own teaching practice. Thus, by participating in the ANT agency, as a hybrid between theory, method, and research object, he was able to insert himself into the networks and describe the associations from the environments in which the activities took place. Thus, the data collected refer mainly to the transcripts of conversations between the researcher and other actors, complemented by the personal documents of the investigator, which allowed us to better characterize the situations from the perspective of an agent who participated in them. Allied with this, the presentation of the data occurred descriptively within a narrative structure, seeking to describe chronologically the construction of networks and the negotiations carried out from the perspective of the actors themselves, highlighting the languages and concepts used by them. Through this investigative path, the repertoire of technical mediation revealed the symmetrical character of the analyzed educational processes, as a variety of social and natural entities came into play, constantly merging, resulting in the formation of a hybrid, called "teacher-experiment". By following the performance of this actor, through the analysis of his performances, it was possible to evidence that they sought to embody and present collective evidence about the phenomenon known as the photovoltaic effect. Moreover, in the context of the Physics Licentiate Degree course, the performances sought to stimulate, mostly, the use of experiments with alternative and/or low-cost materials in Basic Education. Thus, directing an analytical look at experimental practices in the context of Physics Teaching from the approach of Actor-Network Theory provided clues about how to glimpse a less anthropocentric education, enabling a deeper understanding of the relation human/non-human relationship as a central aspect in these educational processes.

Keywords: Actor-Network Theory. Technical mediation. Experiment. Physics Teaching. Performance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema representativo da mediação técnica.....	24
Figura 2 – Rede didático-pedagógica.....	34
Figura 3 – Cronologia dos eventos associados à investigação	38
Figura 4 – Conjunto universitário associado à célula solar.....	50
Figura 5 – Representação das performances associadas ao desenvolvimento da “versão 1.0”	55
Figura 6 – Visão geral do laboratório didático	58
Figura 7 – “Versão 1.0” do conjunto experimental.....	63
Figura 8 – Representação das performances associadas ao desenvolvimento da “versão 2.0”	74
Figura 9 – Célula de filme fino utilizada na segunda versão do conjunto experimental	77
Figura 10 –“Versão 2.0” do conjunto experimental.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Formação e atuação dos actantes humanos no ano de 2013	39
Quadro 2 – Aspectos relevantes do trajeto metodológico da pesquisa	42
Quadro 3 – Expectativas de aprendizagem empregadas na adaptação curricular...	61
Quadro 4 – Alterações no programa de ação voltado para o Ensino Médio	64

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANT	Teoria Ator-Rede
BSCS	Biological Sciences Curriculum Study
CTS	Ciência, Tecnologia e Sociedade
DCE	Diretrizes Curriculares Estaduais
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
EBTT	Ensino Básico, Técnico e Tecnológico
EDUCIM	Grupo de Pesquisa Educação em Ciências e Educação Matemática
FMC	Física Moderna e Contemporânea
GREF	Grupo de Reelaboração de Ensino de Física
IFPR	Instituto Federal do Paraná
LED	Diodo Emissor de Luz
LIFG	Laboratório Integrado de Física Geral
MEC	Ministério da Educação
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
PIAE	Programa Institucional de Apoio ao Extensionista
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
PROAÇÃO	Programa de Pesquisa sobre a Ação Docente, Ação Discente e suas Conexões
PSSC	Physical Science Study Committee
PV	Photovoltaic
RGB	Red; Green; and Blue
SBF	Sociedade Brasileira de Física
SI	Sistema Internacional de Unidades
Si mono	Silício Monocrystalino
Si poli	Silício Polisristalino
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UEL	Universidade Estadual de Londrina
UPFR	Universidade Federal do Paraná
UV	Ultravioleta
V	Tensão elétrica

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	13
1 INTRODUÇÃO	15
2 PILARES TEÓRICO-METODOLÓGICOS	18
2.1 NA TRILHA DA PRÁTICA CIENTÍFICA: OS ARTEFATOS EXPERIMENTAIS COMO ATORES-REDE	18
2.2 UM “NOVO” PAPEL PARA UM “VELHO” ATOR: UM OLHAR PELA PERSPECTIVA DA ANT PARA O EXPERIMENTO NO ENSINO DE CIÊNCIAS	29
2.3 UM DELINEAR METODOLÓGICO AMPARADO NA TEORIA ATOR-REDE.....	36
3 DA FORMAÇÃO À ATUAÇÃO DE UM HÍBRIDO	47
3.1 No MEIO DO CAMINHO TINHA UMA “CÉLULA” E O ESTABELECIMENTO DE UM PROGRAMA DE AÇÃO.....	47
3.2 O “(Re)NASCIMENTO” DE UM EXPERIMENTO E AS PERFORMANCES DO HÍBRIDO	54
3.2.1 As Performances do Híbrido na Aula Experimental do Ensino Médio	66
3.3 O CAMINHO DA MUDANÇA E AS PERFORMANCES DO HÍBRIDO “VERSÃO 2.0”	73
3.3.1 As Performances do Híbrido na Aula da Licenciatura em Física	80
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E “ANTECETERA”.....	88
REFERÊNCIAS	93

APRESENTAÇÃO

Inicialmente, ao buscar apresentar a trilha particular pela qual esta investigação caminhou para produzir uma tese ou, em termos latourianos, um não humano, gostaria de expor alguns elementos que considero terem sido relevantes para a minha entrada nas tramas das redes de Bruno Latour.

Para mim, entrar no processo formativo de um doutorado significou, desde os primeiros dias, uma busca incessante por uma temática “inovadora” num campo de saberes, assim como a procura pelas principais características do que seria uma “boa tese”. Ao adentrar a “rede” do grupo de pesquisa Educação em Ciências e Matemática (EDUCIM)¹, tive o primeiro contato “formal” com o referencial da Teoria Ator-Rede por meio da apresentação da primeira parte do livro *Reagregando o Social*, realizada pelo meu orientador. Naquele momento, meu orientador e outro doutorando estavam, por assim dizer, aprofundando-se nas proposições de Bruno Latour, um dos principais expoentes desse referencial teórico-metodológico.

Eles viram potencial nessa teoria e estavam interessados, sobretudo, pela questão das ações docentes, discentes e conexões, um dos focos de pesquisa do EDUCIM. Diante daquela explanação, o que mais me chamou atenção foram as questões relativas aos objetos enquanto “atores completos” (ou “ativos”) na estreita conexão com os humanos e com outros objetos. Isso se alinhou ao interesse que nutro, desde a época da graduação, pela questão do experimento no ensino de Física.

Iniciava ali a trilha da mediação, ou seja, da influência mútua entre um humano e diversos outros não humanos na busca pela “construção” da tão relevante “tese” e seu papel ao longo do meu processo formativo. Isso me lembra o livro de Maria Ester de Freitas, intitulado *Viva a tese!*. De forma divertida, a autora trata de alguns papéis que atribui a esse artefato, o qual vai se constituindo em estreita conexão com o doutorando. Dentre os tipos de tese retratados por Maria Ester de Freitas, acredito que a minha tese começou e se manteve como um “encosto”, pois, por mais de uma vez nesse período, já sonhei com ela (algumas vezes em forma de pesadelo).

¹ O EDUCIM é um grupo de pesquisas vinculado ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Para mais informações, acessar: <http://educim.com.br/518/>.

Após o primeiro contato com o referencial, aquela crença inicial de que a conexão entre esse campo teórico-metodológico e a questão do experimento no ensino de Ciências aconteceria, de “certo modo”, facilmente, logo se mostrou tal como o próprio Latour explanou: um caminho tortuoso, cheios de desvios e que, em algumas vezes, pode se afastar totalmente do objetivo inicial. E a tese estava ali, sempre à espreita, observando-me e me lembrando da necessidade de avançar.

Isso se deu, principalmente, pela minha inexperiência com o referencial teórico latouriano, bem como com outros relacionados às temáticas que permeiam tal campo de saber. Na busca por superar tais “interrupções”, aliei-me a outros artigos e textos que considerei mais “palatáveis” antes de retornar a leitura às obras “centrais” de Latour, como o próprio livro *Reaggregando o social*.

Desse modo, busquei aliados não humanos e humanos pertencentes a uma ou mais redes que constituíram o híbrido que apresento neste texto. É um resultado provisoriamente estabilizado que buscou compreender como os atores humanos e não humanos se associaram no processo de implementação — construção e uso —de um experimento didático de Física, verificando quais são os efeitos dessa associação nos dois contextos particulares relacionados ao ensino formal de Física.

1 INTRODUÇÃO

A experimentação científica, enquanto elemento da Ciência, estende-se por toda a parte: está em propagandas, revistas, telas, sites e escolas. Ela é apresentada, por exemplo, como aquilo que permite tratar as doenças de maneira mais eficaz e, até mesmo, prolongar a expectativa de vida dos humanos.

A Ciência também é associada aos aparelhos sofisticados, às descobertas impactantes, às substâncias coloridas e, em muitas reportagens, às experimentações, as quais são atreladas ao desenvolvimento dos países nas áreas da saúde, educação, economia, política, etc. Para Cardoso e Paraíso (2015, p. 300), isso significa que a presença da experimentação científica “é sempre requisitada para produzir necessidades, situações e sentidos, e [...] ao longo dos tempos, vem sendo entendida como o momento em que se faz ciência, em que se institui um saber importante sobre objetos ou seres”.

Associado à força desse elemento da prática científica na atualidade, está o reconhecimento da escola enquanto espaço privilegiado, no qual a experimentação atua de forma mais intensa. É nesse contexto que esta investigação se insere ao buscar problematizar o experimento no ensino de Física enquanto um dos temas tradicionais de pesquisa da Educação em Ciências (LABURÚ; MAMPRIN; SALVADEGO, 2011; RIBEIRO *et al.*, 2021).

Contudo, diferentemente das variadas abordagens que ignoram, negligenciam ou subteorizam os modos pelos quais os objetos podem atuar no campo da educação (SØRENSEN, 2009), nossa proposta assume a Teoria Ator-Rede (ANT)² como uma via teórico-metodológica aderente à pesquisa em ensino de ciências. Essa decisão se deve, sobretudo, pelo seu “olhar” para o papel dos artefatos, pois os assume como entes capazes de agir efetivamente, tal qual os humanos (FREIRE, 2021).

Conectada à questão dos objetos enquanto atores, tal perspectiva construiu, com a noção de rede, um conjunto de ferramentas de pesquisa que possibilitam o mapeamento de diversos entes em ação (DANGUI, 2022). Para que se

² O termo ANT se refere à formiga, animal que Latour (2012) compara o pesquisador, posto que ele, de maneira quase míope, rastreia as associações que compõem o social e a sociedade. Em língua portuguesa, tem sido empregado o acrônimo TAR para se referir à Teoria Ator-Rede — comumente empregada em pesquisas sobre Comunicação — ou Teoria do Ator-Rede —mais empregada em Antropologia. Por opção, empregaremos o acrônimo ANT ao longo do texto.

isso se efetive, a tarefa consiste em seguir e ouvir os próprios atores, perceber as controvérsias³ sobre associações e ampliar as possibilidades daqueles que agem (LATOUR, 2012).

Pensando nisso, o objetivo desta pesquisa foi investigar as performances associadas à prática experimental em contextos de ensino de Física. Assim, com base na Teoria Ator-Rede, buscou-se responder à seguinte questão: como os atores humanos e não humanos se associaram no processo de construção e uso de um experimento didático de Física e quais são os efeitos dessa associação no ensino?

O percurso trilhado nesta investigação é apresentado no segundo capítulo da tese, “Pilares Teórico-Metodológicos”. Salienta-se a adoção de um olhar voltado para a versão da Teoria Ator-Rede (ANT), apontada por Law (2021) como a mais “consolidada”, sendo aquela que tende a aparecer nos “livros didáticos”. Para isso, buscou-se explorar, como recorte, a questão dos artefatos associados à experimentação científica, os quais, de acordo com uma visão construtivista, são aliados na construção de fatos científicos (LATOUR; WOOLGAR, 1997; LATOUR, 2000, 2001, 2012).

De maneira específica, procuramos evidenciar a noção latouriana, conhecida como mediação técnica que se conecta com a lógica das redes. Isso tem como finalidade destacar as cadeias nas quais vários tipos de entes heterogêneos — humanos e não humanos — vão se conectando para produzir mesclas inéditas, num movimento interessante e inesperado, que inclui tanto o engenho humano quanto a durabilidade da matéria (MELO *et al.*, 2007).

Outro ponto tratado no segundo capítulo foi a experimentação e os artefatos empregados no ensino de ciências pela perspectiva da ANT. Buscaram-se convergências e foram destacadas algumas diferenciações em relação ao trato dos artefatos diante da prática científica. Por fim, o capítulo “Pilares Teórico-Metodológicos” apresentou um percurso metodológico amparado na ANT: a partir da perspectiva inicial de seguir os atores, ele levou à descrição da rede e à análise do processo de mediação técnica entre um professor-pesquisador e diversos não humanos na busca pela materialização de um experimento.

³ A noção de controvérsia diante da perspectiva da ANT será explorada no capítulo “Pilares teórico-metodológicos” desta tese.

Assim, mantendo por perto conceitos, estratégias de pesquisa e experiências de escrita da ANT, no terceiro capítulo, “Da formação à atuação: um híbrido”, os dados são apresentados na forma de relatos descritivos dentro de uma estrutura narrativa. O eixo analítico se deu em torno das performances associadas à formação e à atuação de um tipo particular de híbrido sociotécnico: o professor-experimento. As análises permitiram também evidenciar, em nosso contexto investigativo, alguns dos significados ou algumas das dimensões que têm associação com a essa importante noção latouriana relacionada à troca de propriedades entre humanos e artefatos: a mediação técnica (LATOUR, 2001).

Portanto, é possível considerar que esta tese se posiciona no começo de uma potencial trilha investigativa, ou seja, é um “passo de formiga” dentro de um vasto programa que ainda pode ser construído. A presente pesquisa, portanto, lançou-se como uma tentativa de compreender a associação entre os humanos e os artefatos no ambiente escolar.

2 PILARES TEÓRICO-METODOLÓGICOS

Este capítulo está organizado em três seções. Na primeira, foram apresentadas noções gerais da ANT, destacando, sobretudo, seus objetos ou artefatos experimentais, como os atores-rede no contexto da prática científica. Na segunda seção, buscou-se, mediante um exercício de analogia, apresentar uma visão amparada em alguns dos conceitos da ANT para o caso do experimento no ensino de ciências. Por fim, na terceira seção, foi apresentado o percurso metodológico empregado na investigação, a qual, fundamentada na premissa de seguir os actantes, buscou compreender como os atores humanos e não humanos se associaram no processo de implementação — construção e uso — de um experimento didático de física, assim como entender os efeitos dessa associação no ensino.

2.1 NA TRILHA DA PRÁTICA CIENTÍFICA: OS ARTEFATOS EXPERIMENTAIS COMO ATORES-REDE

Iniciar uma síntese sobre a Teoria Ator-Rede é apontar para a Ciência enquanto um dos temas centrais que deram origem a esse campo teórico-metodológico. Nesse sentido, até meados da década de 1950, a adoção da equação “+ Ciência = + Tecnologia = + riqueza= + bem-estar social” parecia bem estabelecida e representava a concepção⁴ sobre a relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (BAZZO, 2003).

Contudo, devido ao mal-estar advindo do testemunho de uma sucessão de desastres relacionados à Ciência e à Tecnologia (resíduos contaminantes, acidentes nucleares em reatores, envenenamentos farmacêuticos, derramamentos de petróleo, etc.), foram necessárias revisões de políticas científico-tecnológicas. Com elas, também houve implicações sobre a própria concepção da relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (BAZZO, 2003).

Assim, buscando uma melhoria da compreensão pública sobre Ciência, programas que se enquadram nos chamados estudos de Ciências da Tecnologia e da Sociedade (CTS) se sedimentaram. Mesmo diante de diversas abordagens metodológicas, esses programas convergiram entre si na busca pela

⁴ É possível considerar que tal concepção continua presente em diversos setores do mundo acadêmico e nos meios de comunicação.

inclusão do conteúdo técnico da ciência no escopo da análise sociológica (OLIVEIRA, 2009).

Dentre tais abordagens, Freire (2021, p. 116) destaca a “Antropologia das Ciências, [...] que se constitui como uma disciplina transversal, situada na intersecção da sociologia e das ciências exatas, tendo como objeto de estudo os processos que emergem da inovação científica e técnica”. Isso nos aproxima de um dos primeiros “terrenos” ao qual Bruno Latour se dedicou enquanto precursor do que viria a ser a Teoria Ator-Rede. Ao destacar que nesse campo existia um núcleo de problemas e métodos comuns, o autor afirmou que, “para definir o que está em jogo [...], a única coisa de que precisamos são alguns conjuntos de conceitos suficientemente resistentes para aguentar a viagem por todas essas disciplinas, períodos e objetos” (LATOUR, 2000, p. 35).

Isso salienta alguns elementos da primeira geração (ou do período de formação) da ANT. Conforme ressalta Dangui (2022), nessa etapa foi redefinida a forma com que concebemos a atividade científica, principalmente por meio de uma investigação mais próxima e atenta para a experimentação e o trabalho de laboratório como objetos de estudo da Sociologia (RIBEIRO *et al.*, 2021).

Nesse período, Latour e colaboradores adentraram, primeiramente, um laboratório específico, no qual buscaram evidenciar os meandros da produção e da estabilização de fatos científicos. Como uma extensão daquele invólucro singular, buscaram focar suas análises na Ciência e Tecnologia em ação (LATOUR; WOOLGAR, 1997; LATOUR, 2000). Ao considerar uma similitude entre os processos da Ciência e das técnicas⁵, Latour (2000) adotou o termo tecnociência, que envolve o contexto social e tecnológico da ciência e indica que o conhecimento científico é sustentado e perenizado por redes heterogêneas, com destaque para os materiais (ou actantes não humanos).

É possível inferir que foi a partir de tais estudos que Latour consolidou a ideia de que era necessária uma nova teoria social que desse conta dos aspectos relacionados ao fazer científico (LATOUR, 2012). Como extensão dessa constatação sobre a prática científica, houve o período de consolidação da ANT (DANGUI, 2022).

Conforme Freire (2021) destaca, o foco passou a ser direcionado para as questões relacionadas à ação sob uma nova ótica, bem como à busca pela

⁵ Compreende-se o uso desse termo na obra latouriana como sinônimo de objetos técnicos ou artefatos; já processos da técnica são entendidos como sinônimo de tecnologia.

superação de algumas antinomias clássicas, em que “humano e não-humano, significado e materialidade, grande e pequeno, macro e micro, social e técnico, natureza e cultura são apenas alguns dos dualismos desfeitos por essa relacionalidade” (LAW, 2021, p. 47).

Ademais, Law (2021) atribui a tal período a denominação “Teoria Ator-Rede 1990”, que pode ser identificada pelos seguintes aspectos centrais:

Há **relacionalidade semiótica**⁶ (uma rede cujos elementos definem e formatam uns aos outros), **heterogeneidade** (existem diferentes tipos de atores, humanos e não humanos) e **materialidade** (existe abundância de material, não apenas o “social”). Há insistência no **processo** e em sua **precariedade** (todos os elementos precisam desempenhar seu papel momento a momento ou tudo descola). Há atenção ao **poder** como um efeito (essa é a função da configuração em rede e, particularmente, da criação de móveis imutáveis), ao **espaço** e à escala (de que maneira as redes se ampliam e traduzem atores distantes) (LAW, 2021, p. 46, grifos do autor).

Em associação a tais aspectos, Woodward (2020) ressalta que tal consolidação se dá pela compreensão de que o social não é uma entidade, mas algo que é agregado, desagregado e reagregado através da conexão entre humanos e não humanos. Com isso, a ação emerge a partir de como tais conexões se estabelecem.

Freire (2021), por sua vez, indica que, na obra *Reagregando o Social: uma introdução à teoria do Ator-Rede*, Latour apresenta uma sistematização desse programa de pesquisa, abordando a concepção do social e do fazer da sociologia. O enredo gira em torno de cinco “fontes de incertezas”, quais sejam:

A natureza dos grupos: há várias formas contraditórias de se atribuir identidade aos atores; **a natureza da ações:** em cada curso de ação, toda uma variedade de agentes parece imiscuir-se e deslocar objetivos originais; **a natureza dos objetos:** o tipo de agências que participam das interações permanece, ao que tudo indica, aberto; **a natureza dos fatos:** os vínculos das ciências naturais com o restante da sociedade parecem ser constantemente fonte de controvérsias; finalmente, **o tipo de estudos realizados sob o rótulo de ciência do social**, pois nunca fica claro em que sentido exato se pode dizer que as ciências sociais são empíricas (LATOUR, 2012, p. 42, grifos nossos).

Isto posto, esses dois períodos da teoria correspondem ao cenário desta investigação. Ao concordar com Latour que tal teorização pode ser

⁶ Como apontou Lemos (2013, p. 64-65), a ANT “herda da semiótica a concepção de que entidades têm seus atributos adquiridos como resultantes da relação com outras entidades e não por suas qualidades inerentes”.

compreendida como “uma sociologia do objeto a serviço de humanos voltados para o objeto” (LATOUR, 2012, p. 111), pretende-se aprofundar alguns aspectos referentes aos não humanos empregados na experimentação científica sob o olhar da ANT.

Desse modo, como marco temporal, Latour (2016) confere duas origens ao emprego dos artefatos na experimentação associada à Ciência moderna: uma diz respeito a Galileu e outra a Robert Boyle. Galileu foi quem “inventou” a questão da simplificação dos fenômenos e o emprego da linguagem matemática, já Boyle preconizou “a produção artificial de novos fenômenos, graças a instrumentos custosos, por exemplo, a bomba de vácuo” (LATOUR, 2016, p. 125).

Os objetos dessa classe são denominados dispositivos de inscrição ou instrumentos⁷, sendo compreendidos como

[...] qualquer estrutura (sejam quais forem seu **tamanho, natureza e seu custo**) que possibilite uma **exposição visual de qualquer tipo** num texto científico [...] essa definição não é dada nem pelo custo nem pela sofisticação, mas apenas pela seguinte característica: a estrutura possibilita uma inscrição que é usada como **camada final num texto científico** (LATOUR, 2000, p. 112, grifos nossos).

A partir de tal consideração, é possível constatar que tanto pequenos dispositivos quanto grandes complexos de radiotelescópios são considerados de forma similar, pois, ao final de um determinado processo, produzem uma ou mais prova visual — números, símbolos, gráficos —, chamada de inscrição (LATOUR, 2001). Na visão latouriana, essas inscrições “recheiam” os artigos científicos e/ou técnicos e, com a tecnociência em ação, elas podem caminhar na direção de se transformarem em fatos, leis, teorias científicas aceitas, máquinas “bem-sucedidas” ou virarem “ficção”⁸

Ao considerar não humanos (instrumentos, micróbios, neutrinos, etc.) como entes ativos na prática científica, Latour (2001) emprega o termo *actante*⁹ para melhor denominá-los, pois

⁷ Em Latour e Woolgar (1997), encontramos ainda o termo inscrito, que também será empregado ao longo do texto.

⁸ Essas questões são exploradas de maneira detalhada em Latour e Woolgar (1997) e Latour (2000).

⁹ Uma vez que, em inglês, a palavra “actor” se limita a humanos, utilizamos muitas vezes “*actant*” (actante, atuante), termo tomado à semiótica, para incluir não-humanos na definição (LATOUR, 2001, p. 346).

[...] o actante pode ser concebido como **aquele que realiza ou sofre o ato**, independentemente de qualquer outra determinação. Assim [...] actantes são **os seres ou as coisas** que, a um título qualquer e de um modo qualquer [...] **participam do processo** [...] O conceito de actante substitui com vantagem [...] o termo personagem [...] visto que cobre **não só seres humanos**, mas também animais, **objetos e conceitos** (GREIMAS; COURTÉS, 2008, p. 20-21, grifos nossos).

Essa percepção de actante, para além de destacar a importância dos não humanos, define-os a partir de sua performance, que pode ser compreendida como aquilo que cobre a instância da realização da competência (CÔRREA, 2021) e uma “transformação que produz um novo estado de coisas” (GREIMAS; COURTÉS, 2008, p. 337).

Dessa forma, comprehende-se que, na visão latouriana, os actantes — elétrons, neutrinos, instrumentos, etc. — são definidos por suas performances. Por exemplo, uma câmara de nuvens¹⁰ não é entendida apenas como uma série de traços de gotículas, mas como uma exibição visual de partículas subatômicas, ou seja, um fato científico (HARRÉ, 2003).

O que torna esses não humanos tão importantes “é o fato de que nenhum dos fenômenos aos quais eles se referem poderia existir sem eles; [...] na verdade, os fenômenos dependem do material, eles são totalmente constituídos pelos instrumentos utilizados no laboratório” (LATOUR; WOOLGAR, 1997, p. 61). Sendo assim, para ocorrer qualquer construção, as entidades não humanas têm de desempenhar (performar) um papel maior, e isso está associado à “construção social de fatos científicos” (LATOUR, 2012, p. 136).

Em suma, é possível compreender tais noções a partir do que Latour (2016) nos apresenta ao destacar que, dentro dos laboratórios

[...] ocupados, por **pequenos grupos de pessoas** que **submetem os fenômenos** em que **se especializaram** a provas particulares (**realizam experimentos**), mediante o emprego de **instrumentos** frequentemente **complexos e custosos**, que obtêm como **resultados parciais fragmentos de inscrições** que acabam confirmando, assegurando, invalidando, perturbando outras escrituras, acarretando consigo pouco a pouco uma convicção, por meio de um processo de interpretações contraditórias que não cessam de se complicar e se estender e que, **às vezes, cristalizam-se em**

¹⁰ A câmara de nuvens é um aparato que permite a visualização de traços deixados por partículas carregadas eletricamente (como elétrons, partículas alfa) em um ambiente controlado e parcialmente isolado, preenchido tipicamente por vapor de álcool isopropílico. Os traços são formados pela ionização do álcool provocada pela passagem de tais partículas carregadas. Pela observação qualitativa das diferenças entre os traçados, é possível reconhecer o tipo de partícula que interagiu com o aparato (LAGANÁ, 2011).

um resultado assegurado e passam então aos manuais, em que servem de premissas para outros razoamentos segundo as regras de uma hermenêutica refinada, cuja literatura científica oferece um seguimento bastante bom (LATOUR, 2016, p. 129, grifos nossos).

Ao passo que a ciência foi se desenvolvendo em ação, isso revela que esses não humanos “chegam a ser mais confiáveis que o comum dos mortais, pois em caso de dúvida, mais vale apelar aos não humanos para refutar os humanos” (LATOUR, 2019, p. 36). A essa imbricada relação entre humanos e não humanos, está associada a noção da mediação técnica, a qual, segundo Latour (2012, p. 129), consiste no “abandono do divisor de águas artificial entre as dimensões sociais e dimensões técnicas”.

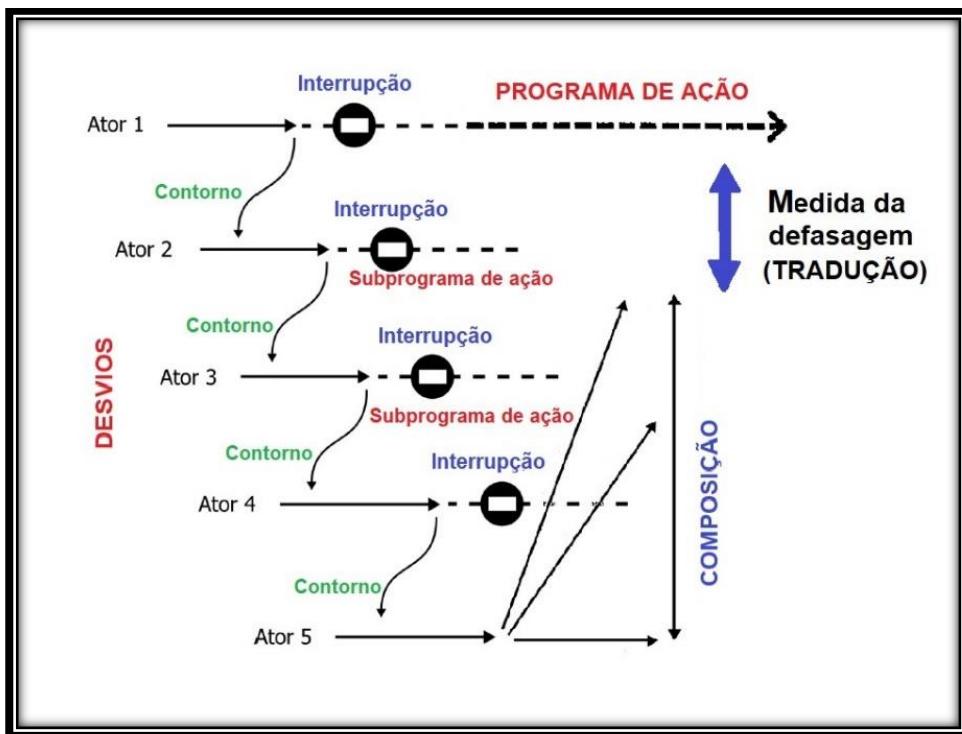
De forma mais específica, a partir de Latour (1994), comprehende-se que, na origem da mediação técnica, está a conjunção ou a influência mútua entre homem e objeto técnico, e ambos se modificam a partir da nova relação constituída (FREIRE, 2021). Ao assumir tal pensamento, Latour (2001) parte da recusa de privilegiar a técnica sobre o humano (materialismo) bem como do humano sobre a técnica (antropocentrismo), pois enxerga nesse par dialógico e simétrico¹¹ a gênese de novas propriedades (CARDOSO, 2015).

Nesse sentido, a fim de esclarecer o seu entendimento sobre a mediação técnica, Latour (1994; 2001) nos apresenta quatro significados dessa concepção: i) programa de ação ou interferência; ii) composição; iii) obscurecimento reversível; e iv) delegação.

A ideia de um ou mais programas de ação está associada com “a série ou cadeia de objetivos, passos e intenções que um agente pode descrever numa história” (LATOUR, 2001, p. 205). Melo (2011) ressalta que é graças à interferência das técnicas que a mediação assume o significado de um programa (Figura 1) que permite chegar à resolução de um problema seguindo um determinado curso de ação.

¹¹ Isso nos aproxima do princípio de simetria latouriano o que, para Bauer (2009), significa rejeitar a ideia da pessoa autônoma como sendo privilegiada sobre coisas, pois os objetos podem ser melhor compreendidos como tendo suas próprias motivações e poder agentivo dentro de redes entrelaçadas com os humanos.

Figura 1 – Esquema representativo da mediação técnica



Fonte: Adaptado de Latour (2016)

Contudo, conforme aponta Latour (2001, p. 203), esses caminhos, muitas vezes, não são retos, mas constituem um “labirinto tortuoso dos maquinismos, das maquinações e dos artefatos”. Isso porque, para cada objetivo proposto, há uma série de interrupções (Figura 1) que levam a contornos ou desvios das estratégias para atingi-lo (MELO, 2011).

Antes de partir para os outros dois significados da mediação técnica, é necessário fazer uma digressão para apresentar o conceito de tradução na obra latouriana — que está intimamente ligada à mediação. Para Latour (2016, p. 28), “um determinado curso de ação sempre é composto por uma série de desvios cuja interpretação, posteriormente, define uma defasagem que dá a medida da tradução” (Figura 1). Assim, a tradução¹² (ou translação) pode ser compreendida como “deslocamento, desvio de rota, tendência, invenção, criação de um vínculo que não existia e que, até certo ponto, modifica os elementos imbricados” (LATOUR, 2001, p.

¹² Latour afirma que pegou emprestado o termo “tradução” do filósofo Michel Serres, que “renovou profundamente a história das ciências, vinculando-a — graças àquela noção — às humanidades” (LATOUR, 2016, p. 27).

207) ou, ainda, “uma conexão que transporta por assim dizer, transformações” (LATOUR, 2012, p. 160).

Na maioria dos casos, o número de actantes envolvidos na mediação é amplo (Figura 1). No caso mais geral, Latour (2016) aponta que as camadas vão se multiplicar, sendo que cada uma delas corresponde a um curso de ação diferente precedido e seguido por numerosos desvios que podem modificar o objetivo inicial. Esses cursos de ação (que derivam das interrupções) são os chamados subprogramas de ação (Figura 1), os quais, mediante o processo da composição, podem ensejar o alcance do objetivo inicial ou levar à defasagem da tradução.

Muitas vezes, as interrupções (Figura 1) estão associadas às situações de desacordo entre os atores envolvidos em disputas sobre fatos que ainda não se encontram estabilizados, o que está relacionado às controvérsias (LATOUR 2016; RHEINGANTZ, 2022). Uma vez interrompidos os cursos de ação (Figura 1), “os actantes envolvidos são levados à negociação e à mobilização de novos atores ou à reorganização de atores já mobilizados” (RIBEIRO *et al.*, 2021, p. 114).

Uma vez superadas tais controvérsias diante dos contornos ou das performances dos actantes devido à composição entre si, busca-se a estabilização provisória tanto de um fato quanto de máquinas, que atualmente não se restringem ao contexto da prática científica. Conforme destaca Latour (2012), a Ciência e a Tecnologia contemporâneas se estenderam aos mais variados cenários em estreita intimidade com a vida cotidiana.

Tal processo de estabilização está atrelado à terceira dimensão da mediação técnica, o obscurecimento reversível, que se popularizou na obra latouriana pelo termo caixa-preta. Para Latour (2001, p. 353),

Essa expressão [...] refere-se à maneira como o trabalho científico e técnico torna-se invisível em decorrência de seu próprio êxito. Quando uma máquina funciona bem, quando um fato é estabelecido, basta-nos enfatizar sua alimentação e produção, deixando de lado sua complexidade interna. Assim, paradoxalmente, quanto mais a ciência e a tecnologia obtêm sucesso, mais opacas e obscuras se tornam.

Dessa forma, “a obtenção de conhecimento científico confiável é o produto final de um complexo curso de ação que envolve numerosas e variadas interações com outros seres humanos, instituições e coisas” (OLIVEIRA, 2009, p. 133).

Disso procede a convivência dos humanos com a inúmeras caixas-pretas resultantes do sucesso e do caráter intersticial que a tecnociência alcançou na contemporaneidade (LATOUR, 2016). Para Gama e Zanetic (2013), seria impossível vivermos sem confiar nas caixas-pretas, pois até mesmo os especialistas são incapazes de conhecer em detalhes o funcionamento e/ou os mecanismos internos de todos os objetos com os quais precisam lidar. Um sinônimo de caixa-preta é intermediário¹³, pois “transporta significado ou força sem transformá-los, pois definir o que entra já define o que sai” (LATOUR, 2012, p. 65). Para Cardoso (2015), esses objetos possuem uma função de conservação.

Esse fechamento não é permanente, pois, diante de algumas situações, há um movimento de abertura das caixas-pretas. Quanto a isso, Latour (2001; 2012; 2016) destaca os momentos de acidentes, rupturas ou panes em que, subitamente, objetos que antes pareciam automáticos e autônomos agora são constituídos por multidões de homens que se movem ruidosamente na busca de uma solução.

Contudo, em geral, confiamos no funcionamento dos objetos mesmo na ausência de cientistas, técnicos e engenheiros responsáveis pela construção. Isso ocorre porque, muitas vezes, a ação social é transferida a esses atores não humanos, os quais são capazes de levá-la adiante graças a outros modos de agir, outros tipos de força. A esse processo de transferência está associada a noção da delegação, quarta dimensão da mediação técnica.

Um exemplo cotidiano e característico que Latour (2001) nos apresenta diz respeito ao quebra-molas: em virtude da sua presença, os motoristas alteram seu comportamento e suas ações, uma vez que são obrigados a reduzir a velocidade. Pata Law (2021, p. 49), “os arranjos sociais delegados à forma física não corporal tendem a manter seu formato de modo melhor do que aqueles [...] de interação face a face”. Ainda sobre os quebra-molas, podemos afirmar que o programa de ação dos engenheiros — fazer os motoristas desacelerarem — é delegado ao concreto, pois os objetos produzem significados graças a um tipo de articulação que “atravessa a fronteira racional entre signos e coisas” (LATOUR, 2001,

¹³ Em contraste ao intermediário, um mediador é aquele que “não pode ser contado como apenas um, eles podem valer por um, por nenhum, por várias ou uma infinidade. O que entra neles nunca define exatamente o que sai [...]. Os mediadores transformam, traduzem, distorcem e modificam o significado ou os elementos que supostamente veiculam” (LATOUR, 2012, p. 65).

p. 213). Vinck (2013b) postula que os objetos e o gestos são misturados, pois os programas de ação sobre a matéria são programas de ação sobre a sociedade e vice-versa.

Dessa maneira, tais significados atribuídos à mediação técnica — interferência ou programa de ação, composição, obscurecimento reversível e delegação — dão espaço para a emergência da novidade, enfatizando a atividade de fabricação e a circulação de enunciados. Ao mesmo tempo, acarreta similaridade e diferença, pois “algo se mantém, e ao mesmo tempo, algo se desloca e se modifica” (MELO, 2011, p. 100).

Para Freire (2021), Latour enfatiza a relevância de estudar os aspectos da conjugação matéria-forma ou ideia-coisa, de modo que o produto resultante seja mais complexo do que a mera soma das partes. Os produtos são os híbridos,

[...] compostos de humanos e não humanos, os quais não se limitam à natureza ou à cultura, mas pertencem a ambas. O termo “híbrido” reforça a associação entre humanos e não humanos, e enfatiza que ambos não devem ser pensados em separados, de modo purificado, mas agregado, em associações variadas (SALGADO, 2018, p.58).

Desse modo, o quebra-molas “não é feito de matéria, é um híbrido, pois está repleto de engenheiros, reitores e legisladores que misturam suas vontades e perfis históricos aos do cascalho, concreto, tinta e cálculos matemáticos” (LATOUR, 2001, p. 218).

Por fim, Cardoso (2015) destaca um mecanismo quádruplo associado à mediação técnica nos termos das ações de transformar, combinar, reverter e delegar. Vale notar que essas ações são coletivas, isto é, dependem de uma rede de atores e não se aplicam muito bem a indivíduos. Dessa forma, em consonância com os significados da mediação técnica, uma rede

[...] designa uma **série de associações** revelada graças a uma prova — a das surpresas da pesquisa etnográfica — que permite compreender por que séries de pequenas **descontinuidades** convém **passar** para obter certa **continuidade** de ação (LATOUR, 2013, p. 47, grifos do autor).¹⁴

¹⁴ Traduzido livremente de “La noción de red, si la preciso un poco, designa una serie de asociaciones revelada gracias a una prueba -la de las sorpresas de la investigación etnográfica que permite comprender por que serie de pequeñas discontinuidades conviene pasar para obtener cierta continuidad de acción”.

Então, a rede nomeada pela ANT pode ser compreendida como o modo de descrever as diversas associações ou conexões entre os actantes (ALZAMORA; ZILLER, 2021). Por essa razão, tal abordagem também é conhecida como sociologia das associações (LATOUR, 2012). Essa definição de rede revela um caráter de dinamicidade, pois “remete a fluxos, circulações e alianças, nos quais os atores envolvidos interferem e sofrem interferências constantes” (FREIRE, 2021, p. 124).

Já no contexto da prática científica, Latour (2000, p. 294) destaca que

[...] se a **tecnociência** pode ser descrita como **algo tão poderoso** apesar de tão pequeno, tão concentrado e tão diluído, significa que **tem as características de uma rede**. A palavra “rede” indica que os recursos estão concentrados em poucos locais — nas laçadas e nos nós — interligados — fios e malhas. Essas **conexões transformam** os recursos esparsos **numa teia** que parece se **estender por toda parte** [...]. A noção de rede nos ajudará a conciliar os dois aspectos contraditórios da tecnociência e entender como tão poucas pessoas podem parecer “cobrir” o mundo (grifos nossos).

Isso significa que a rede é uma trajetória de sentidos que enreda diversas ações, como as dos cientistas, instrumentos de laboratórios, documentos, pesquisas, organizações, dentre outros. A partir dessa concepção, é possível concluir que os fatos científicos (assim como os objetos técnicos) são produtos de redes tecnocientíficas ou sociotécnicas¹⁵ (SALGADO; ALZAMORA; ZILLER, 2021).

Latour (2012) destaca três aspectos importantes a respeito da noção de rede enquanto conexão: é estabelecida ponto por ponto; é fisicamente rastreável, deixando vazia boa parte daquilo que não está conectado; e exige esforço e trabalho, para que a conectividade seja atingida ou mantida.

Assim, Latour (2019, p. 12) considera que a noção de rede é mais flexível que a noção de sistema, mais histórica que a de estrutura e mais empírica que a de complexidade. Em suma,

[...] a teoria Ator-Rede descreve a performance de relações material e discursivamente heterogêneas que produzem e reorganizam todos os tipos de atores, incluindo objetos, sujeitos, seres humanos, máquinas, animais, “natureza”, ideias, organizações, desigualdades, escalas e tamanhos e arranjos geográficos (LAW, 2021, p. 37).

¹⁵ Por sua vez, ao tratarmos das redes sociotécnicas, estamos discutindo uma espécie de variação da própria ideia de ator-rede, evidenciando, particularmente, a vinculação entre a técnica e o social, de modo que “na noção de sociotécnico, não é mais possível separar o social e o técnico” (CARDOSO; SANTAELLA, 2021, p. 167).

Para Maciel (2021), essa abordagem é uma das mais importantes nas ciências naturais, sociais e filosóficas do século XXI.

Até aqui, buscou-se destacar algumas noções centrais — sobretudo da obra latouriana — sobre a prática científica. Em seguida, considerando a execução de um exercício de analogia e ancorados em autores que estudaram as aproximações da ANT com a educação científica, buscaremos tecer considerações sobre os artefatos experimentais (como destacados atores-rede) em relação a alguns aspectos do ensino de Física.

2.2 UM “NOVO” PAPEL PARA UM “VELHO” ATOR: UM OLHAR PELA PERSPECTIVA DA ANT PARA O EXPERIMENTO NO ENSINO DE CIÊNCIAS

Bruno Latour não se dedicou de forma exclusiva à questão dos artefatos experimentais no campo educacional. No entanto, conforme expõem Lima *et al.* (2019), ele abriu uma porta para pensar o assunto ao sinalizar que a educação científica não pode ser vista como algo apartado da ciência, mas como um elemento de sua própria rede.

Destarte, conforme destaca Sanmartí (2002), a necessidade de ensinar Ciência é reconhecida em todo mundo. O ensino científico é considerado fundamental e necessário para a formação de todos os alunos — e não somente para aqueles que podem ingressar carreiras científicas e/ou técnicas. Como característica distintiva dos processos de ensino e aprendizagem em Ciências Naturais, é possível destacar uma ampla classe de objetos que permeiam as práticas que compõem a chamada experimentação no contexto escolar.

Desse modo, consideramos que tal temática se apresenta como uma questão atual e ainda aberta a novas abordagens teórico-metodológicas. À experimentação, estão associadas visões tanto sobre o fazer científico quanto sobre o ensino de Ciências. Ademais, é interessante considerarmos que

[...] as **aulas experimentais** são utilizadas como marketing para escolas privadas [...]. Essa **proposição de excelência** [...] também perpassa escolas públicas quando da aquisição de kits de laboratório escolar pelo setor público. Além disso, livros didáticos são bem avaliados [...] quando apresentam atividades experimentais que reforçam o ensino por investigação [...] **estudantes são premiados/as** por utilizar sucata na **produção de materiais** de práticas em projetos diversos (CARDOSO; PARAÍSO, 2015, p.301, grifos nossos).

Nesse sentido, o experimento permeia práticas de ensino consideradas de excelência, bem como atividades tidas como promotoras de uma aprendizagem científica adequada. Isso porque o emprego de tais atividades no ensino de Ciências “tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de se aprender e de se ensinar ciências de modo significativo e consistente” (ARAÚJO; ABIB, 2003, p. 176).

Para Fary *et al.* (2021, p. 265), diante de uma ampliação das possibilidades de experimentação na educação científica, as práticas podem envolver “atividades demonstrativo-investigativas; experiências investigativas; simulações em computadores; vídeos e filmes; hortas na escola; visitas planejadas e estudos de espaços sociais e valorização dos saberes populares”.

Ao reconstruirmos alguns aspectos da breve trajetória histórica de experimentação no ensino das Ciências para compreender sua influência na educação científica, não é possível afirmar, com precisão, um dado momento em que tais atividades foram inseridas na prática de ensinar ciências. Entretanto, há uma menção de esse momento possa ter ocorrido por volta do século XVIII no contexto do ensino superior europeu (SOUZA; BROIETTI; ARRIGO, 2021).

Concernente a isso, Galliazi *et al.* (2001) destacam que, por influência do trabalho experimental realizado nas universidades, temos a presença de algum tipo de atividade experimental na educação básica há mais de 100 anos. Mas foi em meados da década de 1960 que esse tipo de atividade ganhou relevância nas escolas e passou a ser amplamente difundido, começando pelos Estados Unidos e se estendendo a outros países, como o Brasil (LABURÚ; MAMPRIN; SALVADEGO, 2011).

Era o nascimento do que podemos chamar de era dos projetos ou programas desenvolvidos, tais como: *Chemical Educations Material Study (CHEM Study)*, *Biological Sciences Curriculum Study (BSCS)*, o *Physical Science Study Committee (PSSC)* e os cursos *Nuffield* de Biologia, Física e Química. Também temos os conjuntos experimentais desenvolvidos e divulgados de forma específica no Brasil pela Fundação Nacional de Ciência e a pela Academia Nacional de Ciência (LABURÚ; MAMPRIN; SALVADEGO, 2011; AZEVEDO, 2020).

Nesse sentido, embora tais programas e/ou projetos não tenham alcançado a profundidade desejada no ensino de ciências, deixaram marcas —

sobretudo na expectativa de haver experimentação na Educação Básica (AZEVEDO, 2020).

Ademais, Laburú (2005) expõe que, quando os professores foram convidados a explicar as motivações que os levam a selecionar e implementar suas atividades experimentais do jeito que fazem, a concepção mais recorrente foi que as atividades ativam a curiosidade do estudante, levando-o a se engajar com o conteúdo.

Para além desse ponto de vista essencialmente motivacional, Laburú (2005) elencou os objetivos associados ao emprego das atividades experimentais em três outras categorias: funcional, instrucional e epistemológico.

Na categoria funcional, estão aqueles objetivos que consideram algumas características e propriedades dos materiais e sua adequação para serem implementados junto aos alunos. Essa categoria é permeada pela escolha de experimentos cujo manejo e montagem dos aparatos sejam de fácil execução (LABURÚ, 2005). Por sua vez, os objetivos instrucionais seriam aqueles relacionados ao ensino e a aprendizagem com atividades associadas a meios de facilitar a explicação, assim como à apresentação de conceitos e modelos. Por fim, a categoria epistemológica contempla os objetivos com apelo voltado à construção do conhecimento; ou seja, as atividades seriam utilizadas como forma de estabelecer relação entre o empírico e o teórico, como implicações de teorias e leis.

Concernente a isso, Souza, Broietti e Arrigo (2021) apontam que as concepções empiristas-indutivistas preponderaram por bastante tempo no ensino de ciências. Seu foco reside na ideia de que o experimento teria o papel de demonstração e, principalmente, comprovaria as teorias a fim de torná-las verdadeiras (ARRUDA; SILVA; LABURÚ, 2001). Além disso, tais concepções se vinculam a uma concepção de ciência neutra e objetiva.

Como reflexo na prática pedagógica, estariam as atividades demonstrativas, nas quais o aparato é manipulado pelo professor. Também poderia ser utilizada a abordagem da verificação, em que os alunos, guiados por um roteiro, executam o experimento buscando atingir resultados previamente definidos por leis e teorias (FARY *et al.*, 2021; SOUZA; BROIETTI; ARRIGO, 2021). Embora tais formas de trabalhar com as atividades experimentais tenham recebido inúmeras críticas, por vezes marcas de princípios empiristas se mantêm arraigados nas concepções e, sobretudo, na prática da educação científica (GALIAZZI *et al.*, 2001; LABURÚ; MAMPRIN; SALVADEGO, 2011; SOUZA; BROIETTI; ARRIGO, 2021).

Ademais, é possível observar o emprego de uma vertente epistemológica que se fundamenta no método hipotético-dedutivo ao propor o desenvolvimento das atividades experimentais como um processo de investigação (ARRUDA; SILVA; LABURÚ, 2001). Tais processos geralmente têm as seguintes etapas: formulação do problema; elaboração de hipóteses; planejamento de experimentos; coleta; interpretação e divulgação dos resultados (SOUZA; BROIETTI; ARRIGO, 2021). Para Arruda, Silva e Laburú (2001, p. 99), “é inegável a semelhança de tais passos ou etapas com a sequência de operações do método científico [...], que tem como fundamento o processo de conjecturas e refutações popperiano ou do raciocínio hipotético-dedutivo”.

Por outro lado, como proposta alternativa às posições epistemológicas apresentadas até aqui, Arruda, Silva e Laburú (2001) apresentaram possibilidades para se considerar uma perspectiva kuhniana na questão do experimento no ensino científico. Nessa proposta, o ponto central seria a articulação entre a teoria e o experimento de modo integrador, permitindo que o aluno tivesse uma visão mais ampla do paradigma como um todo (COSTA; ARRUDA; PASSOS, 2020).

Tais aspectos encontram consonância no que Vianna e Carvalho (2001) expõem ao destacarem que, mesmo de forma inconsciente ou sem uma clara intenção, toda a prática de ensino de ciências tem uma postura epistemológica incorporada a ela. Isso vai ao encontro do que nos apresentam Lima *et al.*, (2019, p. 176): não existe “uma ciência “lá”, dentro dos laboratórios, enquanto nós, “aqui”, na escola, apenas a divulgamos ou a transmitimos”. Ou seja, tais posturas epistemológicas nas práticas educativas são reflexo das principais concepções sobre do que seria a Ciência.

Em suma, dentro de uma análise latouriana, podemos considerar que, no ensino de ciências, a experimentação é um campo com algumas controvérsias. Uma delas é que ainda há uma grande variedade de concepções epistemológicas, o que leva a uma falta de consenso sobre os significados e as diferenças entre os termos empregados e os reais impactos de tais práticas no processo de ensino e aprendizagem (RIBEIRO *et al.*, 2021).

Ademais, independentemente da concepção epistemológica subjacente à prática da experimentação na educação científica — tal como ocorre muitas vezes no campo da prática científica (HARRÉ, 2003) —, o experimento ou os

materiais presentes em cena são considerados “invisíveis”. Também há casos em que outros modos de ação pelos quais os objetos poderiam atuar no campo da educação são negligenciados e subteorizados (SØRENSEN, 2009).

[...] humanos e não-humanos não podem ser distinguidos ontologicamente, mas devem ser entendidos como enredados em redes de conexões onde o mundo material pode agir sobre humanos (e outros atores não-humanos) em pé de igualdade com os humanos (BAUER, 2019, p. 240)¹⁶.

Isso é ressaltado por Roehl (2012), que entende a aula de ciências como um agenciamento sociomaterial¹⁷ em que alunos, professores, discursos e os objetos estão entrelaçados. Nesse quesito, Law e Hetherington (2003 *apud* FENWICK; EDWARDS, 2010) destacaram, de forma mais específica, três categorias de actantes presentes nos processos educativos: i) os artefatos, que podem incluir as salas de aula, laboratórios, instalações, produtos químicos; ii) os corpos e como eles são exibidos, decorados, disciplinados, prejudicados ou amplificados; iii) e as coisas textuais que incorporam a linguagem, tais como boletins, exames, listas, documentos curriculares, dentre outros.

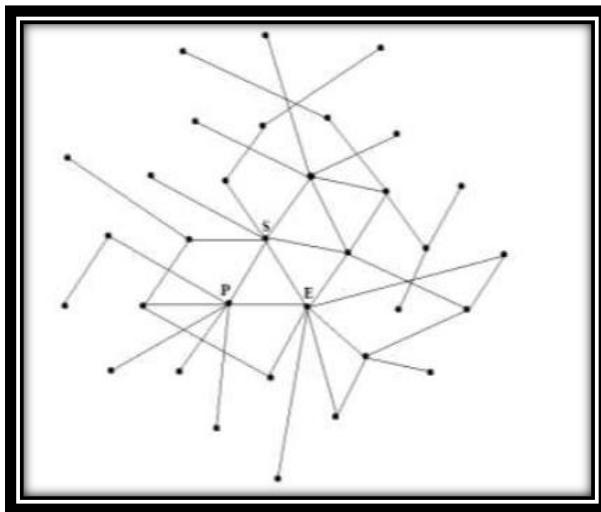
Dessa maneira, podemos representar tais interações a partir de uma rede didático-pedagógica em que Arruda, Passos e Broietti (2021) destacam três actantes “principais”: o professor (P), o estudante (E) e o saber¹⁸ (S), e eles estão em conexão entre si e com muitos outros atuantes.

¹⁶ Traduzido a partir de “[...] humans and nonhumans cannot be ontologically distinguished but rather must be understood as enmeshed in networks of relationships where the material world can act upon humans (and other nonhuman actors) on equal footing as humans”.

¹⁷ Consideramos nessa investigação uma equivalência entre os termos sociomaterial e sociotécnico.

¹⁸ Num contexto de educação formal, o saber pode ser conceitos, leis, teorias, conteúdos, disciplinas etc. (ARRUDA; PASSOS, 2017).

Figura 2 -Rede didático-pedagógica



Fonte: Arruda, Passos e Broeitti (2021, p. 236)

Consonante a isso, McGregor (2004) ressalta que os diversos artefatos envoltos, por exemplo, em uma aula prática de ciências fazem parte, juntamente com os humanos (professores e alunos), de uma rede que reafirma práticas e valores em comum, os quais estão associados a formas particulares do conhecimento científico no contexto escolar. Dessa forma, podemos considerar o experimento como um elemento dentre outros, que trata de levar e validar a prática científica perante a sociedade — e isso é feito com educação científica em diferentes níveis e modalidades (LIMA *et al.*, 2019).

Outrossim, conforme ressaltam Ribeiro *et al.* (2021), o fato de um fenômeno ser conquistado pela ciência não o torna prontamente acessível a um estudante durante a execução de uma atividade experimental — sua recriação precisa ser reconquistada, renegociada e restabilizada. Isso significa que na interação, ou seja, diante da mediação técnica com os educadores científicos, as caixas-pretas da ciência resultam em traduções sobre o contexto da Ciência, mas conservam alguns de seus principais elementos.

Ademais, a mediação técnica também assume um papel relevante no contexto da educação científica. Como apontam Rezzadori e Oliveira (2018, p. 238), tudo

[...] acontece *in medias res*, **nas associações, nas alianças, nas trocas**, não havendo atribuições definidas *a priori*, ou seja, softwares, livros didáticos, laboratórios, modelos, **equipamentos, experimentos, rituais, módulos didáticos, vidrarias, reagentes, regras, boletins, simulações, relatórios, entre**

outros objetos que permeiam o ambiente educativo **podem tornar-se intermediários ou mediadores**, dependendo das associações em que estão envolvidos, pois são elas que o definem (grifos nossos).

Para Vinck (2013b), isso significa que a relação com os objetos deve ser construída, consolidada e objetivada, cruzando restrições e forças de inúmeros mediadores que são reconfigurados no decorrer do processo. Isso porque, quando esses seres entram em contato uns com os outros, suas propriedades são transformadas e redistribuídas mediante um trabalho de hibridização.

Assim, para Fenwick e Edwards (2010; 2011), as coisas que compõem os processos educativos — dispositivos, tecnologias, professores, alunos — são híbridos que se reúnem em combinações particulares. Devemos considerar, ainda, a instância performativa desses entes, uma vez que a dinâmica da performance cotidiana na educação é moldada através deles.

É por meio das performances desses híbridos que várias realidades associadas à experimentação no ensino de ciências podem surgir (MOL, 2008). É possível haver desde práticas deslocadas até dinâmicas educativas interessadas (FARY *et al.*, 2021), mobilizando os estudantes de tal forma que possa impulsionar o fenômeno da aprendizagem.

Desse modo, por exemplo, quando a mediação de um professor com os artefatos experimentais e roteiros têm como objetivo a verificação de leis e teorias científicas, o “resultado” retrata a experimentação típica da vertente indutivista. Por sua vez, quando a mediação entre professores, alunos e materiais é performada de maneira diferente, com foco em questões problematizadoras em conjunto com os não humanos, temos uma atividade experimental investigativa de cunho hipotético-dedutivo.

Em ambas as situações, é possível observar a realização de competências por parte dos actantes conectados entre si, pois conforme ressalta Sørensen (2009), tal noção se relaciona ao resultado de uma assembleia sociomaterial que habilita a compreensão das ações realizadas entre os actantes e seus coletivos. Para Law (2021, p. 55), isso significa que “neste mundo heterogêneo, todos desempenham — performam — seus papéis, relationalmente”.

Isso significa que podemos encarar os processos educacionais como

[...] **redes sociomateriais** as quais são constituídas pelas **associações entre humanos e não-humanos**, que expressam suas agências [e consequentemente suas performances] pelas vias da **legislação** e de **políticas educacionais**, pelos **ambientes de formação** e suas tecnologias, pelos **materiais didáticos**, pelas **práticas pedagógicas** (RIBEIRO; LIMA, 2022, p. 2, grifos nossos).

Portanto, o experimento no ensino de ciências não se limita a uma das diversas ferramentas disponíveis para professores e alunos. Dentro de uma perspectiva associada à ANT, o experimento se comporta como um destacado ator-rede na educação científica. Com isso posto, teceremos, a seguir, algumas considerações a respeito da trilha metodológica adotada nesta investigação.

2.3 UM DELINEAR METODOLÓGICO AMPARADO NA TEORIA ATOR-REDE

Um dos grandes desafios deste percurso foi a escolha adequada de uma lente teórica e um método coerentes e capazes de responder à nossa questão de pesquisa. Assim, ao percorrermos essa trajetória, nos amparamos na Teoria Ator-Rede (ANT) enquanto principal referencial metodológico desta investigação. Ela foi adotada não como uma estrutura rígida e fechada (em termos de passos bem delineados a serem seguidos), mas como “um guia de viagem por um terreno ao mesmo tempo inteiramente banal — o mundo social a que estamos acostumados — e completamente exótico” (LATOUR, 2012, p. 38).

Para Nimmo (2011), a ANT tem uma ênfase nas práticas, ou seja, nas ações, nas atividades e nos comportamentos cotidianos das pessoas, além de considerar a heterogeneidade e a multiplicidade associadas a tais práticas. Os elementos díspares, como objetos e ambientes, materiais e técnicas, taxonomias, categorias e sistemas simbólicos, estão inextricavelmente entrelaçados nessas práticas.

Consonante a isso, Law (2021, p. 38) ressalta que

A teoria ator-rede é descritiva e não fundacional em termos explicativos [...]. Na condição de forma da semiótica material, ela é melhor entendida como uma caixa de ferramentas para contar estórias interessantes sobre relações e interferir nelas. Num sentido mais profundo, trata-se de uma sensibilidade às confusas práticas de relacionalidade e materialidade do mundo

Assim, embora Latour tenha deixado mais questionamentos e pistas genéricas sobre aspectos metodológicos, consideramos que a premissa da ANT consiste em

[...] seguir os próprios atores [e, dessa forma, dentre outras coisas], tentar entender suas inovações frequentemente bizarras [...], descobrir o que a existência coletiva se tornou em suas mãos e [...] quais definições esclareceriam melhor as novas associações que eles se viram forçados a estabelecer (LATOUR, 2012, p. 31).

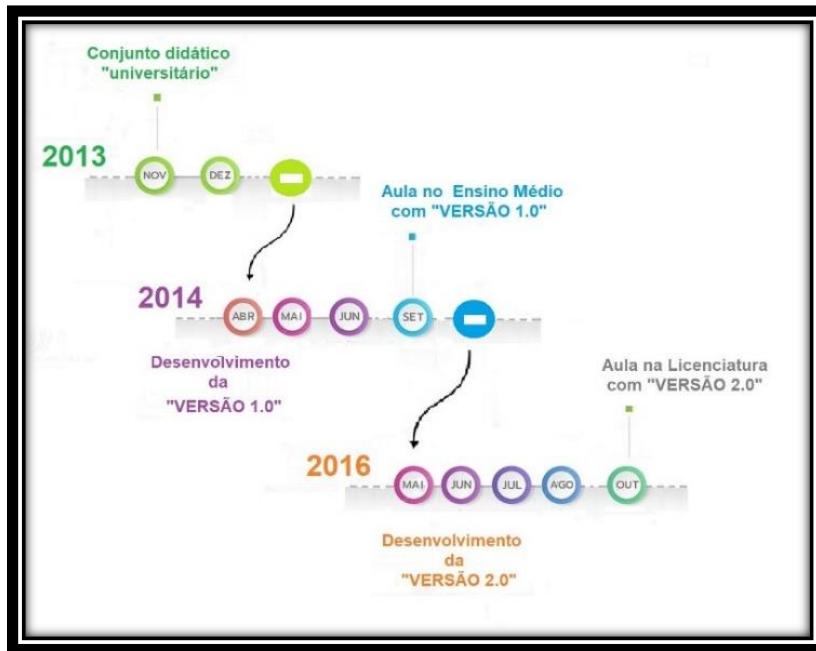
Nesse sentido, Camillis, Bignetti e Petrini (2020, p. 107) consideram que tal pressuposto metodológico deve ser compreendido como “seguir, acompanhar, descrever e analisar as relações considerando humanos e não humanos, a partir do princípio de simetria e sem deixar de ser empiricamente realista”. A isso, Santos (2016) acrescenta que uma abordagem da ANT demanda que o pesquisador fique atento às performances dos vários actantes dos eventos e pense conforme as diferentes operações em vez de pensar de acordo com as causalidades.

Mol (2008) acredita que a adoção dos pressupostos metodológicos da ANT nos impossibilita de olhar o campo (de pesquisa) estando do lado de fora, e nos convida a “participar da agência da ANT”. Isso significa se apropriar de suas noções como um híbrido entre teoria, método, pesquisador e objeto de pesquisa, pois assim o pesquisador se permite se inserir na rede heterogênea, descrever as relações visualizadas e performar a realidade (CAMILLIS; BIGNETTI; PETRINI, 2020).

Aliado ao fato de Corazza (2002, p. 124) defender que “uma prática de pesquisa é implicada em nossa própria vida”, isso nos permite expor que este processo de investigação está embasado no percurso do pesquisador, que se propôs a investigar a sua própria prática docente, conferindo um papel ativo enquanto ator e investigador de parte de sua própria história.

Assim, permeados pelas noções da ANT, buscou-se investigar as performances associadas à prática experimental no ensino de Física. De maneira mais específica, procurou-se entender como os atores humanos e não humanos se associaram no processo de construção e uso de um experimento didático e quais são os efeitos dessa associação no ensino em dois contextos: Educação Básica e uma Licenciatura em Física (Figura 3).

Figura 3 – Cronologia dos eventos associados à investigação



Fonte: o autor

De maneira mais específica, buscamos compreender a formação e a atuação (Figura 3) de um tipo particular de híbrido sociotécnico: o professor-experimento. Esse híbrido surgiu nesta investigação a partir da mediação técnica, que, por desvios e composições, embaralhou elementos de origens muito diferentes (LATOUR, 2016).

Sendo assim, com o objetivo de retratar o início desse processo, é necessário “voltarmos” para o mês de novembro de 2013 para reconstituir o cenário — um laboratório de Física — que consideramos ser um evento analítico relevante. Foi ali que ocorreu o encontro do professor e pesquisador com um artefato — a célula solar¹⁹ —, redefinindo os rumos daqueles dois atores.

O encontro aconteceu num contexto em que a célula solar foi empregada para simular o comportamento de painéis solares, mantendo as características elétricas desses painéis. Isso foi feita em menor escala (MARQUES, 2014; PEREIRA; OLIVEIRA, 2011). Essa atividade fez parte de uma aula experimental

¹⁹ Uma célula solar (ou célula fotovoltaica) é um dispositivo constituído por materiais que permitem a conversão direta de energia luminosa em energia elétrica, por meio de um fenômeno conhecido como efeito fotovoltaico (FILHO; SALAMI; HILDEBRAND, 2006; PEREIRA; OLIVEIRA, 2011). Ainda, pode ser considerada um elemento unitário de sistemas de geração de energia elétrica a partir da energia solar (LUIZ, 2013).

do curso do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), que o professor e pesquisador desta investigação cursava como aluno ou professor-cursista.

Ademais, outros cinco professores de Física da Educação Básica participavam como alunos daquele mestrado juntamente com o pesquisador. Para preservar as suas identidades, eles foram codificados como: PP, para o professor e pesquisador desta investigação; P01 a P05 para os demais professores-cursistas; e PU, para o docente da universidade que ministrou a aula experimental integrante da disciplina denominada de Física Contemporânea. Com a finalidade de melhor caracterização desses actantes humanos, apresentamos, no Quadro 1, alguns dados referentes a esses sujeitos.

Quadro 1 – Formação e atuação dos actantes humanos no ano de 2013

Professor	Aspectos da formação acadêmica e atuação profissional
PP	<ul style="list-style-type: none"> • Licenciado em Física. • Atuou como professor de Física na rede particular de 2008 a 2011. • Professor de Física na rede estadual do Paraná desde 2012. • Professor de Física do Instituto Federal do Paraná desde 2016.
PU	<ul style="list-style-type: none"> • Bacharel em Física. • Doutor em Física da Matéria Condensada. • Professor universitário desde 2008.
P01	<ul style="list-style-type: none"> • Licenciado em Física. • Professor de Física da rede particular desde 2012. • Professor temporário de Física na rede estadual desde 2010.
P02	<ul style="list-style-type: none"> • Licenciado em Física. • Professor temporário de Física na rede estadual do Paraná desde 2012.
P03	<ul style="list-style-type: none"> • Licenciado em Física. • Especialista em Física para o novo Ensino Médio. • Técnico de Laboratório de Física de Universidade Estadual.
P04	<ul style="list-style-type: none"> • Bacharel e Licenciado em Física. • Professor de Física na rede estadual do Paraná desde 2011.
P05	<ul style="list-style-type: none"> • Bacharel em Engenharia Elétrica. • Licenciado em Física e Matemática. • Professor de Física e Matemática na rede estadual do Paraná desde 2004.

Fonte: o autor

Dessa maneira, a partir do Quadro 1, é possível constatar que todos os professores-cursistas eram licenciados em Física, com atuação principal na Educação Básica. O professor universitário (PU), por sua vez, tinha uma formação voltada para a pesquisa em Física da Matéria Condensada, com experiência na docência do Ensino Superior.

Para Latour e Woolgar (1997), isso retrata que a posição ocupada por aqueles atores humanos é resultado provisório de uma trajetória de carreira, dos recursos que detêm e das vantagens oferecidas pela posição que ocupam (LATOUR; WOOLGAR, 1997).

Então, o primeiro cenário analítico desta investigação foi uma aula experimental de um curso superior de Física, a qual também foi aproveitada para o contexto daquela atividade do mestrado profissional, ou seja, foi embasada em um roteiro-guia altamente estruturado (MARQUES; ORENGO, 2021), com foco na obtenção de curvas características de uma célula fotovoltaica (TOGINHO FILHO; LAURETO, 2010).

Assim, os professores-cursistas se dividiram em duplas, manipularam um conjunto experimental (ver Figura 4 na página 49), realizaram medições de grandezas elétricas associadas à célula, elaboraram curvas características e calcularam a eficiência daquele artefato. Tudo isso deveria ser registrado em um relatório a ser entregue ao PU como forma de avaliação daquela atividade. Nesse contexto, os dados coletados naquela aula (26/11/2013) — e que embasaram parte da análise desta investigação — foram obtidos por meio da gravação em áudio das conversas entre todos os participantes daquele encontro, que teve três horas de duração.

Após PP ter contato com a célula solar em 2013, no ano seguinte, ele buscou maneiras de efetivar esse experimento na sua prática docente em uma escola estadual paranaense de grande porte. Naquele período, essa instituição — considerada tradicional — contava com cerca de 2 mil alunos, ofertando desde os anos finais do Ensino Fundamental até cursos técnicos em várias áreas do conhecimento. Reconhecida pela comunidade como uma escola estadual de excelência, contava como estrutura adequada dentro do contexto brasileiro (OLIVEIRA, 2009). Ela era mantida, em parte por uma Associação de Pais e Mestres (APMF) organizada e ativa que complementava as necessidades, pois apenas o orçamento advindo do governo estadual não supria as demandas.

Entretanto, por não ter conjuntos experimentais comerciais ou que se aproximassesem daquele com que teve contato no mestrado (ver Figura 4 na página 49), PP buscou desenvolver um aparato adaptado às potencialidades daquele contexto escolar, considerando a disponibilidade de materiais e de espaço para a implementação adequada da atividade.

Assim, entre abril e junho de 2014, os conjuntos didáticos foram desenvolvidos por PP no período disponibilizado para planejamento e preparação de aulas, a chamada hora-atividade (PARANÁ, 2008). A aula experimental foi efetivada junto a uma turma de primeiro ano do Ensino Médio, em setembro daquele mesmo ano, dentro de uma proposta integrada ao conteúdo de Energia (PARANÁ, 2012).

Desse modo, os dados relativos a esse período correspondem, principalmente, à gravação em áudio e vídeo das interações entre o professor (PP) com os 29 alunos presentes naquele dia. Para a preservação de suas identidades, os alunos foram codificados de pela letra A (aluno) seguida de número corresponde: A01, A02, A03, até chegar a A29. O encontro ocorreu em duas aulas “geminadas”, tendo duração de 1 hora e 30 minutos.

Após aplicação da aula experimental no contexto da Educação Básica, trazemos algumas considerações sobre o período de desenvolvimento e uso de uma nova versão do conjunto experimental sobre a célula, agora voltado para o Ensino Superior, mais especificamente, para a Licenciatura em Física. Nesse sentido, há um “salto temporal” em termos da cronologia da pesquisa; no entanto, conforme expõe Joy (2009), não é necessário seguir os actantes de maneira linear, pois é possível considerar uma série de saltos conectados à medida que as pessoas e as coisas se tornam mais ativas dentro de certas redes.

Assim, o foco deve estar nas maneiras que esses entes se movem e, principalmente, se conectam uns com os outros. Isso não precisa ser linear em termos de ter um começo ou um fim bem estabelecido, pois deve ser definido metodologicamente pelos objetivos da investigação e pelo pesquisador (WOODWARD, 2020). Em nosso contexto de pesquisa, a opção analítica considerou os períodos em que os conjuntos experimentais fossem desenvolvidos e implementados em dois contextos do ensino formal de Física.

Assim, após ter atuado como professor da rede estadual de ensino do Paraná, PP foi aprovado e empossado no dia 01/02/2016 para o cargo de docente do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico (EBTT) no Instituto Federal do Paraná (IFPR). Essa instituição multicampi oferta cursos técnicos em diversas áreas do conhecimento, cursos superiores e, mais recentemente, têm oferecido especializações *lato sensu* e alguns cursos *strictu sensu*, nível de mestrado, em parceria com outras instituições de Ensino Superior no estado.

Entre os cursos superiores ofertados pela instituição, havia os voltados para a formação de professores nas áreas consideradas prioritárias, como é o caso da Física. Na região em que aquela unidade do IFPR se encontrava, foi identificada uma baixa quantidade de professores licenciados em Física. Consonante a isso, foi nesse contexto que se considerou necessário desenvolver uma nova versão do conjunto experimental para que fosse possível implementar aulas experimentais de uma disciplina laboratorial da licenciatura em Física, recém iniciada naquele período.

Assim, ao longo do primeiro semestre do ano de 2016, os conjuntos didáticos foram desenvolvidos por PP, e a aula foi realizada no dia 13/10/2016 na disciplina denominada Laboratório de Física IV. Em sua ementa, a disciplina previa a realização de experimentos que abordassem conteúdos sobre princípios da Física Moderna e Contemporânea. Os dados coletados são compostos, majoritariamente, por gravações em áudio e vídeo das interações entre PP e 13 licenciandos em Física — L01 a L13 — ao longo de todas as etapas daquela aula experimental, que teve duração de duas horas.

O Quadro 2 apresenta, de maneira sintética, as principais etapas da investigação. As informações estão organizadas de acordo com os períodos de análise e o *corpus* de pesquisa.

Quadro 2 – Aspectos relevantes do trajeto metodológico da pesquisa

(continua)

Período	Evento destacado	Actantes humanos e não humanos	Corpus da pesquisa	Tipo e volume de dados coletados
2013/2	26/11/2013 Aula do curso de mestrado profissional	<ul style="list-style-type: none"> • 01 professor e pesquisador (PP); • 05 professores cursistas (P01 a P05); • 01 professor universitário (PU); • 01 célula solar; • 01 lâmpada; • 01 multímetro; • 01 trilho óptico; 	<ul style="list-style-type: none"> • Transcrições das conversas entre os participantes; • Roteiro experimental; 	Gravação em áudio de todas as conversas com 3h de duração.

Quadro 2 – Aspectos relevantes do trajeto metodológico da pesquisa

(conclusão)

2014/1	Abril a junho Desenvolvimento do conjunto experimental	<ul style="list-style-type: none"> • 01 professor e pesquisador (PP); • 01 célula solar; • 01 lâmpada; • 01 multímetro; • 02 suportes; 	<ul style="list-style-type: none"> • Trechos das conversas entre os participantes da aula do mestrado profissional; • Trechos das conversas entre PP com alunos do Ensino Médio; • Roteiro experimental; • Fotos e anotações pessoais de PP; 	—
2014/2	16/09/2014 Aula experimental no Ensino Médio	<ul style="list-style-type: none"> • 01 professor e pesquisador (PP). • 29 alunos de Ensino Médio (A01 a A29). • 01 célula solar; • 01 lâmpada; • 01 multímetro; • 02 suportes; 	<ul style="list-style-type: none"> • Transcrições das conversas entre PP com alunos do Ensino Médio; • Roteiro experimental; 	Gravação em áudio e vídeo de todas as conversas com 1,5h de duração.
2016/1	Maio a agosto Desenvolvimento de nova versão do conjunto	<ul style="list-style-type: none"> • 01 professor e pesquisador (PP); • 01 célula solar; • 01 lâmpada RGB; • 02 multímetros; • 01 suporte; 	<ul style="list-style-type: none"> • Trechos das conversas entre PP com alunos do Ensino Médio; • Trechos das conversas entre PP com licenciandos em Física; • Roteiro experimental; • Fotos e anotações pessoais de PP; 	—
2016/2	13/10/2016 Aula experimental na Licenciatura em Física	<ul style="list-style-type: none"> • 01 professor e pesquisador (PP); • 01 célula solar; • 01 lâmpada RGB; • 02 multímetros; • 01 suporte; 	<ul style="list-style-type: none"> • Transcrições das conversas entre PP com licenciandos em Física. • Roteiro experimental. 	Gravação em áudio e vídeo de todas as conversas com 2h de duração.

Fonte: o autor

Vale atentar para o fato de que, nesse caso, há certa distância temporal entre o registro do que se viveu e o momento de análise dos dados. Buscando promover uma variação de escala e tornar compreensível os tempos e as distâncias (MELO *et al.*, 2007), consideramos, primeiramente, que “o tempo é múltiplo

e por isso a ideia de uma interação sincrônica em que todos os ingredientes tenham a mesma idade e o mesmo lugar não faz sentido" (LATOUR, 2012, p. 290).

Assim, amparados no aspecto de que a ação sempre foi desempenhada pela transferência do peso da conexão para entidades que duram mais ou menos — como os diversos móveis imutáveis —, buscamos trazer de volta à luz aqueles actantes que se encontravam nos bastidores. Fizemos isso por meio de arquivos, documentos e lembranças para produzir, no relato do pesquisador, o estado de crise — em nosso caso, obstáculos — que fez nascer conjuntos experimentais didáticos (LATOUR, 2012).

Aliado a isso, devido às características metodológicas da ANT, os dados foram apresentados de forma descritiva dentro de uma estrutura narrativa que procurou apresentar, cronologicamente e a partir da perspectiva dos próprios atores, a construção das redes e as negociações realizadas, evidenciando as linguagens e os conceitos utilizados pelos atores. Na visão latouriana, essa é uma empreitada de risco, pois, quando o relato é equiparado a um experimento, este pode falhar, de modo que “um bom relato é uma narrativa, uma descrição ou uma proposição na qual todos os atores fazem alguma coisa [...] o bom texto tece redes de atores” (LATOUR, 2012, p. 189).

Assim, apresentar os dados em forma de narrativa permite compreender as transformações ao longo do tempo. Isso porque a narrativa envolve uma ação e personagens reunidos em uma trama geral, como um meio central de conexão com o passado e o presente (LAWLWER, 2002). Para Woodward (2020), de forma simples, a narrativa pode ser entendida como o relato de uma sequência de eventos ordenada temporalmente.

No entanto, Camillis, Bignetti e Petrini (2020) alertam que não se trata apenas de uma extensa linha do tempo com elementos relacionados a um fenômeno, mas do desenvolvimento de um enredo com relevância, coerência e propósito. Isso porque o enredo permite transformar, por exemplo, eventos díspares e aparentemente desconexos em episódios significativos (LAWLER, 2002).

Então, nesta investigação, o enredo envolveu o processo da mediação técnica enquanto conjunção de um professor-pesquisador (PP) com diversos actantes não humanos na busca por construir e utilizar conjuntos experimentais em dois contextos específicos associados ao ensino formal de Física: Ensino Médio e Ensino Superior. Assim, conforme sintetizado no Quadro 2, as

conversas entre os actantes foram uma das principais fontes de dados de nossa análise; pois, sem seguir um planejamento rígido, a questão de pesquisa foi sendo construída e reconstruída ao longo de todo o processo investigativo.

Seguindo o enfoque mencionado, foi necessário “olhar para o passado”, pois passou a ser relevante acompanhar o processo de formação e atuação de um híbrido. Analiticamente, isso se efetivou pela inspiração na chamada Análise de Conversação (AC), uma proposta que se aproxima do viés metodológico da ANT. A AC adota práticas descritivas de eventos cotidianos, em que a conversação pode ser compreendida como um meio em que os participantes podem performar o social (SIMPSON, 2007).

Nessa mesma linha, Lemos Junior (2007) destaca que a Análise da Conversação se ocupa de eventos comunicativos gravados que ocorrem em contextos reais, sem a inicialização de um pesquisador — como ocorre nas entrevistas. Isso significa uma distribuição equitativa de poder dos participantes sobre o diálogo (EVERETT; BARRET, 2012). Já para Vinck (2013b), isso retrata uma postura de pesquisa mais dialógica, em que a voz do pesquisador nos relatos não é a única que enuncia os achados da investigação.

Consonante a isso, nesta pesquisa, as conversas permitiram reconstruir, parcialmente, os períodos de desenvolvimento dos conjuntos experimentais que — em termos de dados — foram complementados por documentos pessoais, como anotações, fotos e desenhos do PP. Esse passo permitiu recuperar experiências autobiográficas de PP, viabilizando uma melhor caracterização da situação a partir da perspectiva de um agente que dela participou. Vinck (2013b, p. 275) considera que as lembranças pessoais também podem constituir “uma forma de registro, que o pesquisador vai cruzar depois, no momento da organização de um relato destinado, sobretudo, a pessoas que não conhecem dado ambiente”.

Para Corrêa (2021), a ANT permite o uso de múltiplos recursos, os quais podem, inclusive, ser misturados para rastrear os fios das conexões que se estabeleceram. Para além da descrição, a análise da presente pesquisa foi realizada sob um eixo interpretativo, com foco nas performances do híbrido professor-experimento ao longo da construção e do uso de duas versões de um conjunto experimental associado à célula fotovoltaica.

Lemos Junior (2007) considera que, nesse processo analítico, não importa a frequência, mas a relevância do evento ou incidente. Isso permite que o

pesquisador interprete os achados sem que nenhum procedimento ou conjunto de regras seja necessário para determinar, *a priori*, como a análise será desenvolvida.

Portanto, a partir de agora, procuramos mostrar, no espaço de tempo em que estivemos presentes naqueles eventos, as atuações e as manobras realizadas pelos actantes envolvidos em contextos particulares dentro de uma rede maior que fora visualizada, a fim de consolidar um tipo de experimento. Ou seja, vamos apresentar as associações, as negociações, os alinhamentos, as estratégias e as competências que interligam o maior número de elementos que darão viabilidade à construção de conjuntos didáticos voltados para aulas experimentais de Física.

3 DA FORMAÇÃO À ATUAÇÃO: UM HÍBRIDO

O principal questionamento que guiou esta investigação foi: Como os atores humanos e não humanos se associaram no processo de construção e uso de um experimento didático de Física e quais são os efeitos dessa associação no ensino? Para buscar responder a tal questionamento, a análise realizada procurou enfatizar as diversas negociações, desvios e composições que os actantes se viram forçados a fazer na busca pela estabilização dos aparatos experimentais. Ao acompanhar a perspectiva dos atores envolvidos, foram descritas, cronologicamente, a construção da rede e as negociações que permearam o desenvolvimento e uso de duas versões de um conjunto experimental.

3.1 NO MEIO DO CAMINHO TINHA UMA “CÉLULA” E O ESTABELECIMENTO DE UM PROGRAMA DE AÇÃO

Ao iniciar a apresentação dos dados por meio de uma estrutura narrativa com um enfoque descritivo, é importante evidenciar que se busca apresentar o maior detalhamento possível para evitar simplificações, uma vez que as unidades de análise consideradas estão nos detalhes, que são “os principais mediadores, os intermediários (que transportam, mas não muda nada), as ideologias, as forças, os poderes, as razões e as agências circulando” (LEMOS, 2013, p. 91).

Em termos de marco temporal, são destacados os fatos ocorridos no dia 26 de novembro de 2013 em um dos recintos do Laboratório Integrado de Física Geral (LIFG) de uma universidade paranaense. Nesse dia, ocorreu o primeiro contato entre o professor e pesquisador (PP) desta investigação e um artefato, a célula solar. A causa desse encontro foi a realização de uma aula experimental do curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), que havia iniciado naquele polo no segundo semestre de 2013. Esse curso *strictu sensu* é de iniciativa da Sociedade Brasileira de Física (SBF) e tem como objetivo principal instruir uma fração muito grande de professores da Educação Básica sobre o domínio de conteúdos de Física e técnicas atuais de ensino para aplicação em sala de aula (MNPEF, 2022).

Assim, parte significativa do currículo do curso é composto por disciplinas obrigatórias relacionadas a teorias bem estabelecidas da área, como

Eletromagnetismo, Termodinâmica e Mecânica Estatística, etc. Entre as disciplinas, constava Física Contemporânea, que visava abordar algum tópico mais “atual”, em conformidade com as possibilidades do polo ofertante (MNPEF, 2022). No contexto do qual PP participou, o foco dessa disciplina era conteúdos relacionados aos materiais semicondutores (como é o caso das células solares), pois o professor responsável por assumir a disciplina (PU) desenvolvia pesquisas relacionadas a tais dispositivos naquela universidade.

Tendo iniciado no dia 19 de agosto de 2013, essa disciplina foi ministrada, num primeiro momento, no modelo tradicional: centrada no docente e com exposição de fórmulas aplicadas na resolução de problemas conhecidos (MOREIRA, 2018). Somente dia 26 de novembro de 2013, após praticamente todo o programa ter sido cumprido e por insistentes pedidos de PP e dos demais professores-cursistas, foi realizada uma aula experimental sobre células fotovoltaicas. Para Rezzadori e Oliveira (2011), isso ilustra a identidade coadjuvante da experimentação nesse processo de ensino-aprendizagem, notadamente centrada no conteúdo.

Contudo, embora tenha sido a única prática experimental daquela disciplina, pode-se apontar como o início da conjunção entre um actante humano e um não humano. Naquele momento, culminou com o estabelecimento de um programa de ação enquanto um dos significados da mediação técnica (LATOUR, 1994; 2001; 2012; 2016).

Dessa maneira, o experimento foi realizado no Laboratório Integrado de Física Geral (LIFG), que é um ambiente composto por quatro recintos e/ou salas com disposição semelhante entre si. Essas salas atendem os cursos de Graduação em Física e de áreas correlatas da instituição. No que se refere às atividades realizadas no LIFG, o fluxo de trabalho é organizado por agendamento prévio dos professores junto aos técnicos. Isso ocorre de acordo com um catálogo de experimentos (TOGINHO FILHO; LAURETO, 2010), que contém todos os roteiros das aulas experimentais realizadas.

PP – Aqui no laboratório (universidade) é diferenciado né, porque as janelas foram pintadas né, as mesas com bancadas, computador, conexão de internet, tudo prontinho para tirar as medidas.

P03 – Teve a reforma e ampliação dos laboratórios em 2010 se não me engano e **foi planejada de acordo com o catálogo de experimentos** que ficou pronto nesta mesma época também.

PE – Então, as aulas das engenharias são as mesmas da Física?

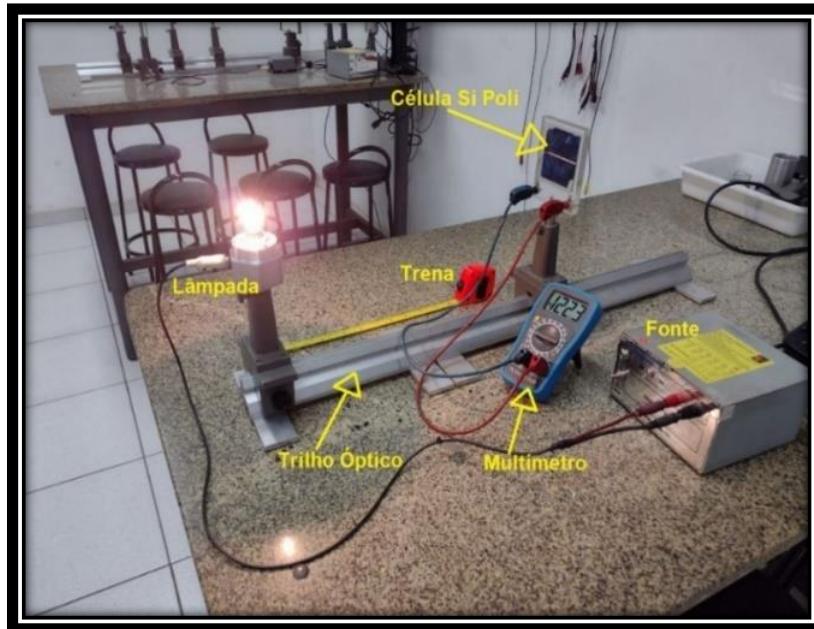
P03 – Cara, **os roteiros são os mesmos**, o que pode mudar é o enfoque ou uma prática que pode ser feita em um curso e outro não, depende da ementa e da carga horária de cada um (Trecho de diálogo entre P03 e PP, 26/11/2013, grifos nossos).

É por meio desse catálogo que todas as atividades são organizadas espacial e temporalmente, e isso reflete nas performances dos demais actantes envolvidos. Por exemplo, quando um novo professor assume alguma disciplina experimental, ele deve se orientar por esse catálogo. Na perspectiva da ANT, essa é uma das estratégias empregadas para que as redes — como é o caso da LIFG — possam alcançar relativa estabilidade. Nesse caso, isso é alcançado mediante a chamada durabilidade estratégica, que envolve “a criação de móveis imutáveis” (LAW, 2021, p. 50), o que naquele contexto é representada pelo catálogo de experimentos.

Consonante a isso, Latour (2000, p. 368), ressalta que “todos esses gráficos, tabelas e trajetórias estão sempre ao alcance da mão e são combináveis à vontade, tenham eles vinte séculos ou um dia de idade”. Por sua vez, Decuyper (2020) considera esse actante central, dando-lhe um *status* de autoridade na rede, pois tem um papel decisivo na efetivação daquelas práticas de ensino.

Assim, o experimento foi guiado pelo roteiro intitulado “Curva característica de célula solar” (TOGINHO FILHO; LAURETO, 2010). A Figura 4 retrata os principais materiais e equipamentos associados ao “conjunto universitário” utilizado.

Figura 4 – Conjunto universitário associado à célula solar



Fonte: o autor

O objetivo do experimento consistia em caracterizar células solares, o que deveria ser efetivado por meio de duas ações: i) modificar a intensidade de radiação luminosa que atingia a célula, permitindo a construção de gráficos característicos; e ii) conectar um resistor variável à célula para calcular sua eficiência energética de maneira indireta (TOGINHO FILHO; LAURETO, 2010).

PU – Pessoal, voltando aqui, **vamos dar uma lida no roteiro**, em relação aos materiais que vamos empregar: 1 trilho óptico; 1 lâmpada de luz branca, no caso aqui, incandescente; 1 resistor variável (potenciômetro); 1 célula fotovoltaica de Silício policristalino; 2 multímetros digitais e cabos banana pra conexões e 01 trena;

PU – Então, **nós vamos fazer as práticas descritas no roteiro**: Tensão em circuito aberto; corrente de curto-círcuito e medição da eficiência da célula; Pra isso, como a turma é pequena, montamos 02 conjuntos para vocês retirarem os dados, podem começar e qualquer dúvida pode falar. Depois que vocês fizerem as conexões, vamos apagar a luz da sala para evitar a influência na célula (Fragmentos de fala de PU, 26/11/2013, grifos nossos).

Os trechos acima reforçam a presença do roteiro no discurso do professor (PU) como um argumento de autoridade e segurança (LATOUR, 2000; DECUYPERE, 2020). Ademais, retratam um exemplar de aula de laboratório embasada em um roteiro-guia altamente estruturado, do tipo “receita” a ser seguida (MARQUES; ORENGO, 2021).

Em seguida, destaca-se um trecho em que os componentes do conjunto universitário (Figura 4) são tidos como um “ideal” a ser atingido na implementação de experimentos no ensino de Física (LABURU; MAMPRIN; SALVADEGO, 2011).

PP – Aqui (na universidade) **a célula já está protegida** com acrílico transparente e **já tem as conexões prontas** com cabos banana, a fonte de luz, tudo bem conectado pra evitar mal contato e facilitar as medidas. Esse tipo de **montagem seria “ideal”**, mas para a minha realidade (de trabalho) **teria que adaptar**, mesmo sendo uma escola pública com boas condições.

PP – Pelo jeito, **até esse trilho (óptico)** foi feito na oficina aqui do departamento, **com o trilho fica tudo ajustadinho (componentes)!**

P03 – **Foi mesmo**, tem torno, fresa, essas máquinas junto com um técnico que fez todas as peças que são usadas nos experimentos aqui do LIFG. (Trecho de conversa entre P03 e PP, 26/11/2013, grifos nossos).

Essa rede do LIFG é mantida pelo esforço e trabalho de inúmeros actantes humanos e não humanos (LATOUR, 2012). Entre eles, a célula solar ou fotovoltaica foi o artefato que mais chamou a atenção de PP naquela aula.

PP – Professor (PU), essas células aqui são de Silício monocristalino (Si Mono) ou policristalino (Si Poli)?

PU – Estas (células) aqui que temos são de Silício do tipo policristalino (Silício Poli).

PP – **É a primeira vez que eu vejo (uma célula) assim de perto**, só tinha pesquisado pela internet algo relacionado **porque queria fazer uma prática** do tipo dessa, sobre algum aspecto da Física Moderna. (Trecho de conversa entre PP e PU, 26/11/2013, grifos nossos).

Esses trechos mostram um interesse de PP pelas características do material do qual o artefato era feito, pois, a depender do tipo de material, o custo e a disponibilidade de aquisição são diferentes. A célula de Silício policristalino é a mais difundida (MARQUES, 2014), possibilitando assim, implementar uma prática com células na Educação Básica.

P03 – Cara (PP), desde a graduação você gosta dessa parada de Física Moderna né, lembro que você apresentou um experimento sobre efeito fotoelétrico na semana da Física!

PP – Então, eu acho que eu gosto desde criança, eu acho que foi porque faltou na escola, fui só duas vezes no laboratório, mas foi só demonstração. Na faculdade, a disciplina que mais gostei foi a de instrumentação e no trabalho, eu também fui técnico de laboratório dessa mesma escola que sou professor agora, eu gostava muito da função, de construir os experimentos, até me arrependi de ter deixado esse cargo (Trecho de diálogo entre PP e P03, 26/11/2013).

Esses excertos nos permitem inferir que PP mobiliza as redes construídas ao longo de sua vida, as quais tornam possível o seu modo de existência (LATOUR, 2013). Essas redes também sustentam sua capacidade de tomada de decisão e de criação diante de novos desafios. Ao nos atentarmos para esse objeto e seu impacto sobre PP, percebemos que ele atuou como um mediador, pois modificou, influenciou e provocou reorientação de sentidos. Houve, portanto, mútua afetação entre esse par humano/não humano (LATOUR, 2012; SALGADO; ALZAMORA; ZILLER, 2021).

Contudo, a célula atuou de diferentes maneiras na relação com os demais professores-cursistas (P01, P02, P03, P04, P05). Embora eles tenham tido contato com ela, eles não se motivaram a buscar a implementação de atividades experimentais daquele tipo em suas realidades de trabalho, ou seja: não assumiram um papel de intermediário (SALGADO; ALZAMORA; ZILLER, 2021).

P01 – [...] eu acho muito complicado conseguir fazer esse tipo de **prática assim quantitativa no Ensino Médio**, além de **faltar laboratório** como já falei, os **alunos não conseguem** fazer nem **cálculos simples**, imagina **construir gráficos e tabelas!**

P02 – Cara, eu até quero fazer, mas como PSS (professor substituto) eu estou trabalhando em várias escolas e **nem dá tempo** de ver o laboratório, negócio é manter os moleques em **sala de aula mesmo!**

PP– E nos **colégios particulares** que você trabalha P01? Não dá também?
P01 – Cara, lá é **seguir a apostila**, dar o conteúdo focado para os **vestibulares**.

P03 – Eu acho que tem que tentar fazer sim, eu não estou em sala de aula, mas pretendo fazer uns conjuntos destes para o laboratório da universidade que vou começar a trabalhar.

P01 – Massa! Se precisar ou não encontrar material assim, eu vou te procurar beleza!

P03 – Tranquilo!

PP – E você, P05, engenheiro eletricista ainda, vai fazer com a molecada?

P05 – Eu tenho um problema na mão, fica difícil para eu manipular as coisas, acabo ficando mais no **conceitual** mesmo com eles.

P04 – **Eu já não gosto** muito de **fazer práticas** não, **turmas difíceis** de lidar que eu tenho, **vira bagunça!**

PP – Eu sei que é desafiador, mas eu **queria muito levar essa prática para a escola**, na verdade ainda vou, preciso ver como **adaptar ou substituir os materiais** e ver como “encaixar” esse tema nos conteúdos do médio. (Trechos de conversas entre PP com P01, P02, P03, P04 e P05, 26/11/2013, grifos nossos).

Os trechos acima apresentam motivos pelos quais os professores-cursistas acreditam não ser possível realizar atividades experimentais no Ensino Médio. Dentre eles, destacam-se: pouco tempo para planejamento e execução ou escassas condições de trabalho (fala de P02), restrições institucionais (fala de P01),

indisponibilidade de sala ou laboratório deficitária e questões referentes à indisciplina ou falta de conhecimentos prévios por parte dos alunos (falas de P01 e P04)

À resistência de modificar sua prática docente, Arruda (2001) deu o nome de inércia do professor. Por sua vez, tais trechos são representativos do chamado discurso da carência ou da deficiência, retratado por Laburú, Mamprin e Salvadego (2006) como uma possível explicação para a resistência dos professores em utilizar atividades experimentais em sua prática pedagógica.

Outro ponto retratado nas falas dos professores-cursistas é o termo *teaching for testing*, que Moreira (2018, p. 75) associa ao fato de que “os professores devem preparar os alunos para testagem, para as provas, para respostas corretas [...], os professores são treinadores e a escolas centros de treinamento”.

Conforme mencionado, embora tenha sido uma única aula experimental, a presença daquele artefato (a célula solar) afetou PP a ponto de motivá-lo a buscar implementar, na Educação Básica, um experimento similar àquele do contexto universitário. Isso levou ao estabelecimento de um programa de ação como um dos significados da mediação técnica latouriana, o qual denominamos “Caracterização de uma célula fotovoltaica para fins didáticos”.

Esse programa corresponde a uma série de objetivos e etapas necessárias para que um ou mais actantes possam atingir determinado resultado ou “cumprir” metas por eles estabelecidas. Ainda, conforme ressalta Melo *et al.* (2007, p. 118), “para atingir um fim, é necessário ter um programa de ação, ou seja, materiais, estratégias, circunstâncias, que nos permitam fazer a diferença entre um ponto zero e o atingimento do objetivo que buscamos”.

Em conjunto com a célula solar, o roteiro universitário aponta para três principais etapas ou subprogramas de ação: i) estudo do efeito fotovoltaico; ii) elaboração de curvas (gráficos) características de uma célula solar; e iii) cálculo da eficiência energética do dispositivo (TOGINHO FILHO; LAURETO, 2010).

Considerando que os caminhos para chegar a um determinado objetivo são, muitas vezes, uma espécie de “labirinto tortuoso” dos artefatos, a próxima seção explora, de forma mais detalhada, outros aspectos da mediação técnica estabelecida entre o PP, a célula e outros não humanos neste programa de ação.

3.2 O “(RE)NASCIMENTO” DE UM EXPERIMENTO E AS PERFORMANCE DO HÍBRIDO

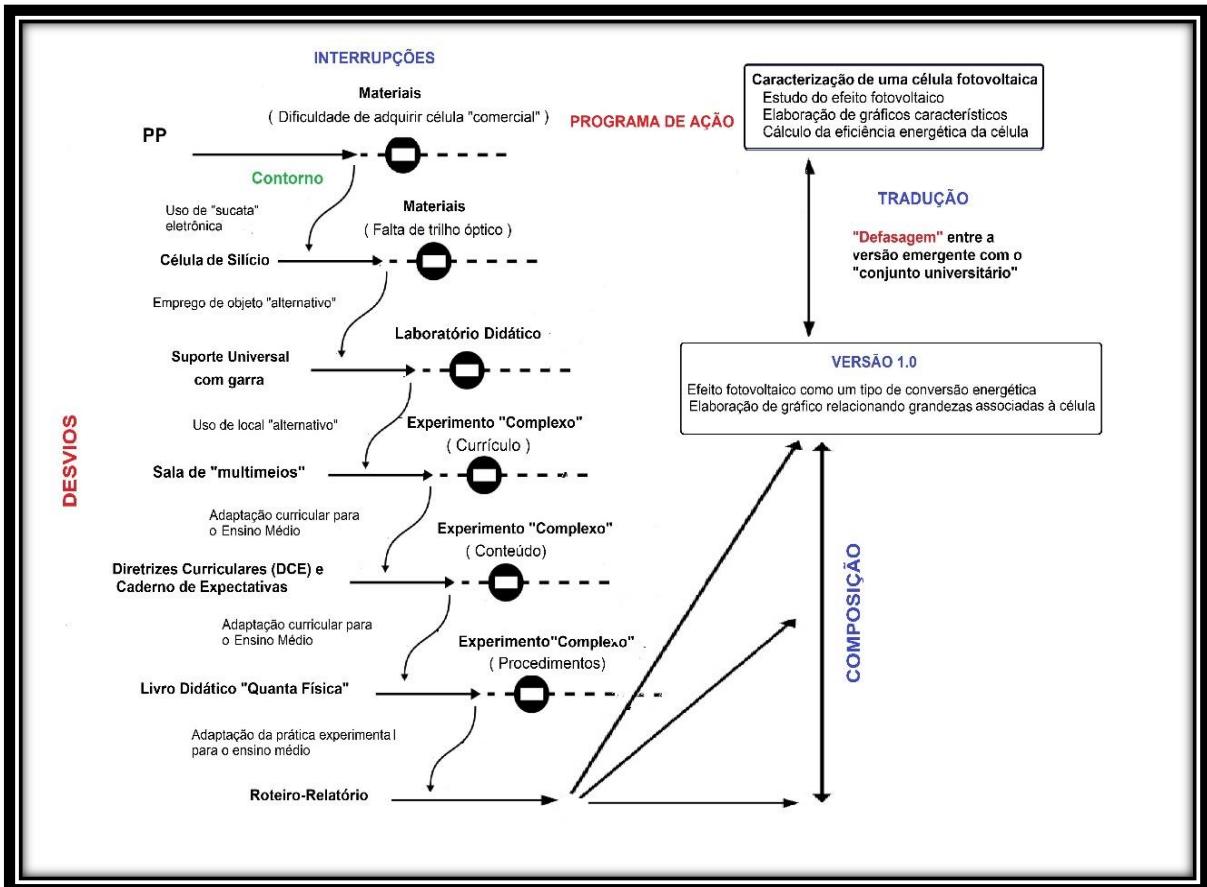
Nesta seção, daremos continuidade ao trabalho com a exposição e análise dos dados associados à implementação de uma atividade experimental no contexto do Ensino Médio após o estabelecimento de um programa de ação que foi pensado, pesado, negociado e, de certa maneira, otimizado e traduzido (VINCK, 2013b).

Assim, pelo fato de a escola não contar com um conjunto didático experimental semelhante ao da universidade, foi necessário desenvolver um aparato adequado às suas condições materiais, ao currículo disciplinar de Física naquele nível de ensino e a outros pontos. Isso revelou que, para cada programa de ação definido, há uma série de interrupções que nos levam a contornos ou desvios ligados às estratégias empregadas para cumprir o objetivo (MELO, 2011).

Diferente da prática científica, nesta investigação, as interrupções não estão associadas majoritariamente às controvérsias quanto convergência de conflitos entre os atores e redes (RIBEIRO *et al.*, 2021), mas a obstáculos inerentes à construção de dispositivos experimentais. Os contornos ou desvios empregados estão, portanto, atrelados às performances diante de divergências ou de um novo cenário em que se deve atuar (CORRÊA, 2021).

Assim, de forma esquemática, a Figura 5 representa as interrupções enfrentadas, as performances realizadas e as associações que se estabeleceram no desenvolvimento do conjunto experimental (“versão 1.0”) ao longo de aproximadamente três meses (abril a junho de 2014).

Figura 5 – Representação das performances associadas ao desenvolvimento da “versão 1.0”



Fonte: Adaptado de Latour (2016)

A célula solar é o principal dispositivo relacionado ao efeito fotovoltaico (LUIZ, 2013). Sendo assim, a primeira interrupção identificada (Figura 5) foi justamente referente à falta de artefatos semelhantes ao do contexto universitário (Figura 4), uma vez que aquele era considerado o ideal — tamanho e conexões elétricas — para a elaboração de um conjunto didático com qualidade.

Como primeira alternativa, buscou-se adquirir “células solares comerciais”, as quais já poderiam ser compradas em sites estrangeiros.

PP – Professor (PU), **será que é difícil conseguir essas células?** Queria muito tentar fazer na escola, uma prática com células.

P03 – **Acho que na internet, você consegue encontrar só a célula**, ou mesmo, tentar cortar de um painel.

PP – Pois é, dei uma procurada (na internet), mas não encontrei tão fácil assim, achei meio caro também, vem da China, mas é meio complicado de pagar, frete caro também, essas coisas, mas depois vou ver se consigo pelo menos uma para fazer com a molecada. (Trechos de conversa entre P03, PU e PP, 26/11/2013, grifos nossos).

A aquisição do material foi dificultada pela insegurança de PP em efetivar a compra, pois a maioria dessas plataformas não possuíam ainda representação comercial no Brasil naquele momento. Sendo assim, os trâmites envolvidos e o custo foram considerados limitantes na perspectiva desse professor. Como a aquisição não se mostrou viável naquele momento, o olhar se voltou para a miríade de materiais e objetos presentes no laboratório da escola. Muitos deles eram resquícios dos vários programas e projetos voltados ao ensino de ciências estabelecidos em meados da década de 1960 (LABURÚ; MAMPRIN; SALVADEGO, 2011; AZEVEDO, 2020).

Para Wortmann (1992 *apud* Oliveira, 2009, p. 100), esse é um exemplo de que “a realidade escolar, por vezes, desvinculada das propostas de mudança provenientes dos acordos governamentais resultou em pouca penetração destes pacotes no ensino de ciências”.

Para além desses materiais, por muito tempo o laboratório foi encarado como uma espécie de depósito (FRANCISCO JUNIOR; SANTOS; YAMASHITA, 2019), de modo que lá estavam armazenados aparelhos antigos de rádio, projetor de filme e diversos artefatos doados pela comunidade escolar. Todos esses materiais podem ser entendidos como potenciais atores aguardando para sair dos bastidores.

Foi nesse ambiente que PP se deparou com um pequeno painel fotovoltaico, composto por uma série de pequenas células solares conectadas entre si e protegidas por uma espécie de plástico transparente; no entanto, devido às intempéries, já se encontrava um pouco amarelada. Ao buscar informações sobre aquele artefato com alguns colegas que atuavam na escola há mais tempo e faziam uso periódico do laboratório, foi informado que o artefato era parte de um pequeno satélite que havia sido doado à escola por uma universidade particular.

A partir dessa informação, algumas células foram retiradas do painel, testadas e preparadas para os alunos manipularem; o restante do painel foi mantido intacto para ser apresentado aos alunos e instigá-los com a história do satélite.

A09 – Professor, de que material é isso? Você comprou?

PP – **Este painel**, eu **encontrei** aqui **no laboratório da escola**, parece que uma faculdade da região que doou, falou que já foi de um “**braço**” de **satélite**.

A09 – Que massa!

PP – Bem legal né, eu vou passar uma célula cortada e o pedaço do painel que eu não cortei, para vocês poderem olhar mais de perto, passar a mão! (Trechos de conversa entre PP e A09, 16/09/2014, grifos nossos).

Vinck (2013a, p. 34) considera que “se interessar por um objeto faz com que ele exista”. Ou ainda, por ter sido reencontrado, aquele painel adquiriu um novo estatuto associado àquele curso de ação: ao fornecer as células para que o experimento pudesse ser executado, retomou, mesmo que de forma provisória, um papel ativo no processo (LÉCAILLE, 2013).

Superada a questão das células, surgiu um contratempo pela falta de um outro artefato considerado relevante para dar estabilidade ao conjunto didático, o “trilho óptico”. Ele permitiria um alinhamento entre a célula e a lâmpada por meio de suportes (“cavalos”) posicionados e fixados com parafusos sobre tal trilho (figura 4).

Diante dessa situação, PP adotou um objeto comumente encontrado em laboratórios escolares, que é o “suporte universal com garras”, composto por uma base geralmente feita de material metálico em que se conecta uma mufa e nela são fixadas pinças ou “garras”. As “garras” são tipicamente empregadas para sustentar diversos tipos de vidrarias utilizadas no laboratório, permitindo que tais dispositivos fiquem bem seguros em posições elevadas (PARANÁ, 2013).

Esse artefato, tal como aconteceu na criação do modelo para a estrutura do DNA, ele foi um aliado importante na mediação com PP. De forma análoga ao que ocorreu com Watson e Crick, ele também suportou o conjunto didático, permitindo certa estabilidade para realizar as medições associadas à célula, reforçando que “o valor de uma cadeia se prende ao menor de seus elos” (LATOUR, 2016, p. 38)

Desse modo, as interrupções motivadas pela ausência de materiais foram vencidas, sobretudo, pelo fato de o laboratório da escola prover materiais alternativos (célula e suporte com garras), considerados adequados naquele momento. Contudo, enquanto espaço, ela se revelou uma nova barreira para o alcance do programa de ação, pois naquele período aquele laboratório passou a ser destinado quase que exclusivamente para o curso técnico em Química que começava a ser oferecido na escola diante de uma “nova onda” de valorização dessa modalidade na rede estadual paranaense (REZZADORI; OLIVEIRA, 2011).

Tratava-se da expansão do programa “Brasil Profissionalizado”, um convênio entre o governo estadual e o Ministério da Educação (MEC) que visava à

modernização e à expansão das redes públicas de ensino profissional (PARANÁ, 2013). Isso se efetivou com a disponibilização de diversos equipamentos, vidrarias e reagentes às escolas que adequassem sua estrutura para receber tais materiais.

Figura 6 – Visão geral do laboratório didático



Fonte: o autor

Na escola de atuação de PP, isso foi organizado com mobilização e custeio da Associação de Pais e Mestres em conjunto com a direção e outros entes daquela comunidade escolar. A prioridade foi reestruturar o espaço do laboratório por meio de reforma (construção de bancadas) para atender, especificamente, o curso de Química (figura 6). Isso retrata que “o poder desse laboratório é, pois, proporcional ao número de actantes que ele pode mobilizar a seu favor” (LATOUR, 2000, p.151).

Assim, em termos de organização espacial para implementar uma atividade experimental sobre a célula, PP considerava mais adequado realizar as aulas práticas em outro lugar, pois a disposição das bancadas e a possível presença de reagentes eram fatores que limitavam o uso daquele local.

A21 – Professor, **a gente não vai no laboratório?**

PP – Então, duro que nosso **laboratório não “cabe” toda a turma** de vocês de uma vez e lá **está montado mais para curso técnico de química**, então vamos fazer a prática aqui naquela sala que passam os vídeos (multimeios), sabe?

PP – E outra, nós não vamos mexer com reagentes, então, **as salas de aula ou essa sala aí de vídeo são nossos laboratórios.**

A21 – Beleza! (Trechos de conversa entre PP e A21, 16/09/2014, grifos nossos).

O espaço escolhido foi a sala de multimeios (ou “sala de projeção”), que a direção da escola havia disponibilizado para realização de reuniões, apresentação de filmes, palestras, etc. Na fala de PP, ainda é possível identificar que ele não considera que um laboratório seja, necessariamente, de um local físico, mas uma espécie de “invólucro espaço-temporal, onde entidades desempenham seus papéis” (LATOUR, 2001, p.183).

Até aqui, as performances dos actantes envolvidos no processo de implementação de um experimento no Ensino Médio permitiram contornar os obstáculos, que estavam relacionados, principalmente, aos aspectos materiais dos artefatos. Na sequência, serão detalhadas novas interrupções, desta vez motivadas por aquilo que se chama de “experimento complexo” e que envolve três aspectos relacionados entre si: currículo, conteúdo e procedimento.

Em termos curriculares, temas relacionados à Física Moderna e Contemporânea (FMC) — como o efeito fotovoltaico —, embora presentes nos currículos, não são tratados no Ensino Médio. Nessa etapa do ensino, “os conteúdos curriculares não vão além da Mecânica Clássica e são abordados da maneira mais tradicional possível, centrada no professor, baseada no modelo de narrativa” (MOREIRA, 2018, p.76).

P01 – Pessoal, não querendo ser pessimista, mas para “falar” de efeito fotovoltaico, talvez só no terceiro ano, porque os alunos não entendem nem as leis de Newton.

P01 – E outra, escola particular é assim, terceiro ano é foco nos vestibulares e na pública, só com duas aulas, a **gente tenta cumprir o mínimo** [do currículo].

P04 – Verdade eu nunca consegui “chegar” a trabalhar conteúdos de Física Moderna não, tento “dar” todo o conteúdo de eletromagnetismo.

P02 – Cara, tem escola que já trabalhei que os alunos vêm muito defasados do ano anterior, então tem turma que ainda estou trabalhando conteúdos de **Mecânica no começo do segundo ano** [do ensino médio].

PP – Eu já acho que temos que “superar” essa tradição aí de ficar só seguindo esses livros didáticos tradicionais. Para mim, a Física Moderna tem que entrar

logo no primeiro ano do Ensino Médio. Sei que é um desafio, alguns assuntos são complexos, mas eu pretendo tentar.

P01 – Seria muito bom, mas teria que ter, pelo menos, mais aula de Física na grade do Ensino Médio (Trechos de conversas entre PP, P01, P02 e P04, 26/11/2013, grifos nossos).

Falas como “cumprir o currículo” retratam um discurso repetidamente apresentado pelos professores para justificar a ausência de conteúdos de FMC em suas aulas (MOREIRA, 2018). Na perspectiva da ANT, isso retrata a chamada estabilidade discursiva, uma das estratégias empregadas para tornar as redes estáveis (LAW, 2021). Essa é uma das maneiras pelas quais o ensino tradicional é mantido apenas na Física. Contudo, essa barreira quase intransponível para a maioria dos professores-cursistas foi superada por PP quando ele se aliou, justamente, com dois actantes não humanos associados ao currículo naquele contexto.

O primeiro era as Diretrizes Curriculares Estaduais (DCE), que indicava caminhos e possibilidades para inserir temas de Física Moderna ao longo de todo o Ensino Médio de forma integrada com os ditos conteúdos estruturantes – Movimento, Termodinâmica e Eletromagnetismo (PARANÁ, 2008). Ademais, embasado nas DCE, o Caderno de Expectativas de Aprendizagem se encontrava mais presente e associado aos códigos locais na realidade escolar de PP. Isso porque, entre outras coisas, as expectativas de aprendizagem

[...] expressam aquilo que é essencial o aluno conhecer ao final de cada ano [...] do Ensino Médio, dentro de cada conteúdo básico definido nas Diretrizes. Por se referirem a esses conteúdos, as Expectativas são amplas, e se apresentam como um norte, um objetivo final a ser atingido [...]. Vale ressaltar que esse documento poderá subsidiar a elaboração do Plano de Trabalho Docente [...] pelos professores [...], os quais possuem autonomia para sua produção (PARANÁ, 2012, p. 5).

Dessa forma, após examinadas as possibilidades de trabalhar o efeito fotovoltaico no primeiro ano do Ensino Médio, o Quadro 3 apresenta Expectativas de Aprendizagem que se alinham a essa implementação.

Quadro 3 – Expectativas de aprendizagem empregadas na adaptação curricular

Conteúdos Estruturantes	Conteúdos Básicos	Expectativas de Aprendizagem
Movimentos Termodinâmica Eletromagnetismo	Energia, Princípio da conservação da Energia, Trabalho e Potência	26. Compreender a energia como uma entidade física que pode se manifestar de diversas formas. 32. Compreenda e analise fenômenos físicos relativos aos movimentos, à termodinâmica e ao eletromagnetismo, utilizando-se do Princípio da Conservação da Energia.

Fonte: Paraná (2012, p. 49)

Essa aliança previa abordar o efeito fotovoltaico enquanto uma manifestação da conversão direta da energia luminosa em energia elétrica (LUIZ, 2013), buscando, ainda, ressaltar alguns aspectos do chamado Princípio da Conservação da Energia nesse processo.

P01 – PP, você que trabalha na escola pública, só com 02 aulas por semana, conseguiria fazer esse experimento, com tabelas, gráficos e falando ainda de efeito fotovoltaico?

PP – Então P01, não sei se o foco deve ficar nos gráficos, mas eu pensei em começar a usar a célula em atividade demonstrativa, **focando na questão da conversão de energia** e acredito que dê para **estimar a eficiência também**, mas adaptando para o “nível” deles [Ensino Médio] né!

PP – Na escola, eu consegui convencer a outra professora de Física a adotar aquele livro [didático] Quanta Física, ele tem uma “pegada” na questão de começar pelas formas de energia.

P02 – Um dos autores é aquele professor do GREF né, eu também gostei do livro, mas como PSS [professor temporário] eu não tenho voz na hora de escolher não.

PP – Isso, ele tem elementos do GREF mesmo, por isso que optei por ele. (Trechos de conversas entre PP, P01 e P02, 26/11/ 2013, grifos nossos).

As falas revelam outro aspecto associado às performances desenvolvidas para contornar os obstáculos curriculares: parte da escola de atuação de PP adotou o livro didático *Quanta Física*, que se mostrava convergente com a proposta trazida pelo Caderno de Expectativas e pelas DCE. Isso porque,

[...] abordava de modo eminentemente qualitativo, **o tema da energia e as diferentes formas com as quais aparece no mundo vivencial dos alunos** [...] em que se deve destacar, ainda, a forma como assuntos relativos à **Física Moderna e Contemporânea** comparecem na coleção, ou seja, **se dá ao longo dos três volumes em um número bastante grande de capítulos dedicados à temática** (BRASIL, 2012, p. 54, grifos nossos).

Um outro fator determinante para a adoção desse livro foi o fato de um dos autores ter pertencido ao Grupo de Reelaboração de Ensino de Física (GREF),

um projeto de ensino voltado para o Ensino Médio e considerado de excelência em todo o país. Ele tem um referencial teórico consistente, de natureza epistemológica, educacional e pedagógica, cuja produção de material segue a perspectiva (HOSOUUME, 2015).

Como “descendente” do GREF, o livro *Quanta Física* foi adotado devido à mobilização por parte de PP. As credenciais acadêmicas do autor dessa coleção passavam confiança sobre os assuntos de Física, traziam possíveis aplicações práticas e, sobretudo, tinha uma proposta pedagógica de excelência. Em suma, tal livro, ao ser localmente julgado, foi escolhido pois se adotou “a capacidade do autor – indissociado – de sua obra, de produzir no futuro” (OLIVEIRA, 2009, p. 98)

Ao lado das questões curriculares e de conteúdo, era necessário fazer adequações procedimentais do experimento. Dessa forma, aquele roteiro universitário foi problematizado, retestado e ressignificado, e os fatos científicos por ele apresentados foram adaptados às características dos artefatos disponíveis, assim como aos interesses particulares em torno daquela atividade experimental (OLIVEIRA, 2009).

Desse processo, surgiu um novo actante, denominado de “roteiro-relatório”. Embora conservasse as partes típicas de um método científico (materiais, procedimentos), no contexto escolar (OLIVEIRA, 2009) ele seria entregue em branco aos alunos. Isso foi feito porque não havia pretensão de que os alunos apenas seguissem alguns procedimentos pré-estabelecidos de maneira mecânica: o processo se daria por meio de diálogo com o professor, para que o documento pudesse ter algum significado. Com isso, foi possível compreender que são tantos os desvios que podem acontecer em um programa de ação que é comum cairmos em um emaranhado de soluções.

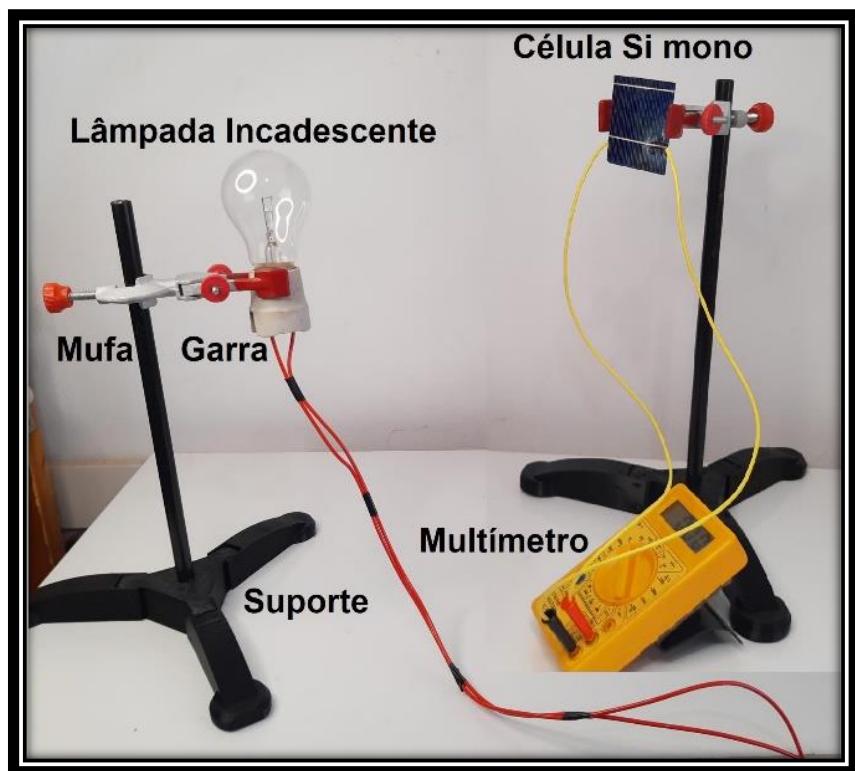
Como afirma Latour, “um chimpanzé pode agarrar um porrete e, achando-o muito tosco, começar, após outra crise, outro subprograma, a aguçá-lo e inventar no caminho, uma ferramenta composta” (LATOUR, 2001, p. 209). Assim, a composição como um dos significados da mediação técnica pode ser compreendida como o resultado de uma multiplicação desses subprogramas, tornando-se a realização comum de cada um dos actantes que participaram do processo (LATOUR, 2001).

Nesse contexto investigativo, pode-se identificar a formação de um híbrido, ao qual denominamos “professor-experimento”. Ele é resultante do processo

de mediação entre um actante humano (PP) com uma célula solar em um primeiro momento e, em seguida, na composição com diversos outros artefatos na busca por implementar esse experimento no Ensino Médio. Enquanto produto humano/não humano, “o actante híbrido, este sim, é capaz de fazer, pois fazer nada significa além de ser capaz de agenciar recursos para determinado fim, de modo a alterar, em parte, a configuração social circundante” (CARDOSO; SANTAELLA, 2021, p. 170).

Tal conjunção em termos dos artefatos resultou no conjunto experimental (figura 7), composto por: uma célula de Silício monocristalino; uma lâmpada incandescente; um multímetro digital; e dois suportes universais com garras.

Figura 7 – “Versão 1.0” do conjunto experimental



Fonte: o autor

Assim, ao comparar a montagem ilustrada na Figura 7 com o conjunto experimental da universidade (Figura 4), é possível observar semelhanças — mas principalmente diferenças. A primeira diferença envolveu o tipo de material constituinte da célula solar, pois o pequeno painel disponível no depósito da escola era composto por Silício Monocristalino, enquanto da universidade era de Silício Policristalino.

Contudo, conforme apontam Rezende (2004) e Marques (2014), ambos os tipos de célula apresentam características elétricas semelhantes quando associadas ao efeito fotovoltaico.

Outros dois elementos essenciais que também estavam no kit escolar — a lâmpada e o multímetro — e considerados equivalentes aos do contexto universitário (figura 4) foram enviados à escola pelo governo estadual junto com outros materiais considerados básicos e deveriam estar presentes nos laboratórios escolares paranaenses (PARANÁ, 2013). A principal modificação foi o emprego de suportes universais com garras (Figura 7) para dar sustentação à célula e à lâmpada, um contorno empregado para superar a falta de um artefato específico (Figura 4).

Assim, quando uma defasagem entre esses dois conjuntos é estabelecida, tem-se uma noção da tradução que se operou nesse processo (LATOUR, 2016). Essa noção latouriana, entre outras coisas, pode ser compreendida como uma conexão que transporta transformações (LATOUR, 2012).

Nessa mesma linha de pensamento, Cardoso e Santaella (2021, p. 149) destacam que “o movimento da tradução é um movimento de inovação, por incitar um fluxo e por fazer surgirem conexões inexistentes”. Nessa dinâmica, algumas características são mantidas enquanto outras se modificam (MELO, 2011), e isso pode envolver a transposição de um lugar para outro, (FREIRE, 2021) — como ocorreu neste contexto investigativo.

Além das questões materiais, a tradução abarcou alterações significativas (Quadro 4) em relação aos objetivos originalmente traçados. Como Melo et al. (2007, p. 118) afirmam, é “a partir das necessidades práticas de um coletivo que a tessitura de determinados programas de ação vai se forjando”.

Quadro 4 – Alterações no programa de ação voltado para o Ensino Médio

Programa de ação inicial	Programa de ação voltado para o Ensino Médio
1. Estudo do efeito fotovoltaico. 2. Elaboração de gráficos característicos. 3. Cálculo da eficiência energética da célula.	1. Efeito fotovoltaico como um tipo de conversão energética. 2. Elaboração de um gráfico relacionando grandezas associadas à célula.

Fonte: o autor

Sendo assim, as diferenças entre o programa de ação incialmente estabelecido e aquele obtido no contexto da Educação Básica não são meras

simplificações, mas um processo mais amplo, que permite aproximar algumas noções latourianas — principalmente a tradução — com a transposição didática (CHEVALLARD, 2005; MARQUES; ORENGO, 2021).

Chevallard (2005) explica que a transposição didática é um processo pelo qual o saber produzido pelos cientistas (o Saber Sábio) se transforma naquele que se encontra nos currículos e livros didáticos (o Saber a Ensinar) e, principalmente, naquele que se efetiva nas salas de aula (o Saber Ensinado).

Para Marques e Orengo (2021), a transposição didática pressupõe a existência desse processo no qual um conteúdo do saber, tendo sido designado como Saber Sábio, sofre um conjunto de transformações adaptativas que o levam a tomar lugar entre os objetos de ensino. Chevallard (2005) distingue duas fases desse processo: a externa e a interna. Na fase externa, o Saber Sábio é primeiramente transformado em Saber a Ensinar; já a chamada de interna é a aquela em que o Saber a Ensinar é convertido em Saber Ensinado na escola, resultado da intervenção de diversos entes.

Contudo, mesmo diante de tais transformações, todo conceito, lei, teoria, etc., deve manter semelhanças com a ideia original — mesmo que adquira outros significados próprios do ambiente escolar capazes de responder a dois domínios diferentes, a ciência e a escola (MARQUES; ORENGO, 2021).

Assim, uma primeira aproximação diz respeito ao Saber Sábio, pois diante da perspectiva da ANT, tais saberes seriam as caixas-pretas, ou seja, as diversas teorias científicas que foram estabilizadas após esfriamento das controvérsias em torno delas.

Diante de um exercício de analogia, a fase externa da transposição didática estaria ligada às traduções pelas quais passariam os conhecimentos científicos contidos nos artigos da área e foram colocados nos livros didáticos. Tal qual no caso da transposição didática, esses móveis imutáveis possibilitam uma certa permanência dos enunciados, ao mesmo tempo que permitem sua aplicação em diferentes contextos, a exemplo da escola.

Exemplo disso é que “existe uma conexão indireta, mas plenamente rastreável, entre o gabinete de Galileu, na Florença do século XVI, e aquilo que todo menino de escola aprende quando lhe ensinam a não acreditar nos próprios olhos ao ver o sol se pondo” (TARDE, 2000, *apud* LATOUR, 2012, p. 261).

Na fase interna, por sua vez, as traduções estariam associadas à mediação do professor com os demais actantes, especialmente aqueles relacionados ao currículo e ao conteúdo, como as Diretrizes Curriculares, Caderno de Expectativas e o livro didático.

Com tais considerações em mente, na sequência, buscaremos descrever algumas performances desse híbrido (professor-experimento) ao longo de sua atuação na busca por implementar esse programa de ação voltado para o Ensino Médio enquanto Transposição Didática.

3.2.1 As Performances do Híbrido na Aula Experimental do Ensino Médio

Na seção anterior, foram descritas as associações entre os actantes envolvidos no contorno dos obstáculos que se apresentaram no caminho de um curso de ação que almejava cumprir um programa de ação. Tais contornos podem ser compreendidos como as performances dos actantes envolvidos, que precisaram avaliar suas atuações e redirecioná-las para um novo rumo (CORRÊA, 2021).

Ademais, considerando que a performance também se liga às competências — presentes ou em criação — que os sujeitos colocam em prática dentro das redes em que atuam (CORRÊA, 2021; GREIMAS; COURTÉS, 2008), nesta seção, buscamos evidenciar alguns eventos analíticos relativos às performances do híbrido professor-experimento no uso do conjunto didático (Figura 7) junto à uma aula experimental no Ensino Médio.

Assim, devido às fragilidades identificadas no aparato (principalmente na célula), PP optou por realizar a atividade experimental “completa”, ou seja, manipulação e coleta de alguns dados, apenas com 1 das 6 turmas em que atuava. Nas demais, foram realizadas demonstrações experimentais com a célula, fonte de luz e multímetro; portanto, elas não compõem os dados desta investigação.

A turma escolhida foi aquela que o professor acreditava ter maior habilidade na gestão de classe, minimizando possíveis danos ao material. Isso mostra que, para além de todos os condicionantes envolvidos no processo de construção e refinamento de um experimento, a credibilidade que cada turma dispõe para executar o experimento também é levada em conta (OLIVEIRA, 2009).

Assim, na sala de multimeios, distribuídos em pequenos grupos manipularam os conjuntos experimentais a fim de se obter, por exemplo, dados relacionados ao efeito fotovoltaico enquanto conversão direta da energia luminosa em elétrica.

A03 – PP, suas aulas são as mais massas!

A04 – Verdade mesmo, é o único professor que faz trás experimento para gente mexer.

PP – É mesmo? Fico feliz! Mas nem na matéria de Química, vocês nunca fizeram nenhum experimento?

A03 – Ela [a professora de Química] falou que se der tempo, até o final do ano, ela leva a gente no laboratório, mas ela disse que tem que terminar o conteúdo primeiro.

A04 – É, mas a gente sabe que não vai levar! (Trechos de conversas entre PP, A03 e A04, 16/09/2014).

O trecho retrata que, naquele contexto, as atividades experimentais propostas por PP são tidas como um diferencial da área das Ciências da Natureza, pois as demais disciplinas, como a Química, permanecem com enfoque no ensino tradicional, centrado no professor e na transmissão de uma lista de conteúdos (MOREIRA, 2018).

Em seguida, destaca-se uma apresentação inicial do experimento dentro do programa de ação previamente adaptado para o Ensino Médio.

PP – Pessoal, atenção aqui em mim agora!

PP – Lembra que na aula anterior, fizemos uma discussão sobre as formas de energia e algumas transformações? Lembram da questão da energia solar fotovoltaica que mostrei até a reportagem na TV Pendrive para vocês?

PP – Então, hoje, nós vamos fazer um experimento sobre isso, e a gente vai usar uma célula solar, com o objetivo de entender na prática uma das formas de conversão de energia, no caso aqui, da energia luminosa diretamente em elétrica (Trechos de fala de PP, 16/09/2014).

Pelos trechos, a aula experimental ocorreu após um encontro em sala de aula, no qual foram expostas reportagens sobre usinas solares fotovoltaicas. Na ocasião, também fora realizada, com uso do livro didático *Quanta Física*, uma discussão inicial sobre essa forma de geração de energia no Brasil.

Na sequência, antes de distribuir os conjuntos didáticos para os alunos manipularem, houve uma breve explicação sobre o roteiro-relatório e alguns de seus itens.

PP – Pessoal, antes de entregar o experimento, está passando uma folha para vocês, esse será **nossa roteiro e também relatório**, tá. Pode ver que ele é uma folha com frente e verso e **já está escrito todos os tópicos de um relatório e tem um espaço, para vocês irem preenchendo [...]** vocês já fizerem das outras vezes, mas no caderno, agora está tudo “resumido” em uma folha.

PP – Olha aqui os materiais, por exemplo, que vamos usar: a célula fotovoltaica de Silício; o multímetro; a lâmpada incandescente e a trena.

Você们 vão preencher logo abaixo do nome de vocês, no item “material”

PP – O restante dos itens, nós vamos preenchendo juntos, o mais importante é que vocês compreendam o fenômeno! (Trechos de fala de PP, 16/09/ 2014, grifos nossos).

Conforme destacado por Oliveira (2009), o roteiro-relatório representa elementos associados ao método científico no contexto escolar. No entanto, em vez de ser tratado como uma espécie de “receita” a ser seguida pelos alunos (FARY *et al.*, 2021), ao ser entregue em branco, é o meio pelo qual as performances do híbrido (professor-experimento) com a participação dos alunos teriam sentido nessa atividade experimental. Essa apresentação inicial da célula gerou alguns questionamentos por parte de alguns alunos.

A09 – Professor, **de que material que é isso?** É caro? Você comprou?

PP – Lembra que eu mostrei no vídeo, na aula anterior, as usinas?

A09 – Mais ou menos!

PP – Não estava prestando atenção né, mas **essa célula é um “pedacinho” daquelas usinas que eu mostrei**, eu até passaria o vídeo de novo, mas hoje eu reservei para vocês mexerem no experimento!

PP – Essa célula faz parte deste painel que está na minha mão, daqui a pouco eu vou passar para vocês olharem mais de perto, pegar na mão.

A09 -Beleza! **E é caro?**

PP – Essas aqui, eu cortei deste painel, que eu encontrei no depósito da escola, então não custara nada, mas para comprar na internet, ainda está um pouco caro!

PP – E já o material, **ela é de Silício monocristalino** pelo jeito dela e por parecer um pouco mais antiga também, essas “mais velhas”, eram feitas desse tipo de Silício.

A09 – Que massa!

A03 – Aquelas usinas que são caras né?

PP – Isso, as usinas, que são a junção de muitas células, são caras, mas a tendência é baratear ao longo dos anos (Trechos de conversas entre PP, A09 e A03, 16/09/ 2014, grifos nossos).

Por se tratar de um artefato pouco comum naquele contexto escolar, houve a necessidade de explicar o que era uma célula fotovoltaica, bem como algumas de suas características e correlacioná-las com os painéis fotovoltaicos apresentados anteriormente.

Consonante a isso, Kalthoff e Roehl (2011) apontam que, no contexto escolar, certos objetos — como ocorreu com a célula — exigem uma explicação de sua presença, pois quando artefatos incomuns ao cotidiano escolar são introduzidos na sala de aula, o discurso performativo precisas ser muito mais trabalhado para orientar a prática. Na mesma linha, Roehl (2012) considera que tais performances dentro de uma visão disciplinar do ensino científico buscam transformar os objetos e torná-los epistêmicos; associados, portanto, ao conhecimento científico no âmbito escolar.

PP – Pessoal, vou começar aqui pelo grupo 03, mas depois vai passar nos grupos de vocês, uma célula para vocês verem como ela é mais de perto, podem passar a mão. Vai passar também um pedaço do painel fotovoltaico de onde eu tirei as células para a aula, podem passar a mão nele também.

A03 – É fina a célula hein!

PP – Bem fina, coisa de apenas alguns milímetros de espessura.

A20 – Professor, pode relatar nessa célula que está na nossa mesa também?

PP – Pode, só cuidado para não derrubar ela do suporte, mas daqui a pouco chega a que está passando pela sala (Trechos de conversas entre PP, A20 e A03, 16/09/ 2014).

Considerando a célula fotovoltaica onde o fenômeno do efeito fotovoltaico acontece, as falas retratam um esforço performativo do híbrido para que os alunos toquem aquele objeto físico. Isso retrata o que Roehl (2012) indicou sobre esses não humanos nas aulas ciências, ao afirmar que tais entes demonstram e corporificam (*embody*) as leis da natureza. A seguir, destacam-se trechos relacionados a aspectos científicos e tecnológicos da energia fotovoltaica como uma das formas de geração de energia elétrica.

A01 – Professor, **de onde pega esse Silício?**

PP – **Tira da areia** por exemplo, depois **separa, purifica** para construir os painéis! Lembra que um dos vídeos que eu mostrei, tinha um pouco do processo, mas passou meio rápido.

A01 – Ah sim, bem complexo né!

A03 – **Brasil não deve produzir né**, estamos sempre atrás nas tecnologias.

PP – Sim, sim, eu não vi se tem fábricas no Brasil, mas de qualquer forma, **a maior parte é tudo importada**.

A03 – E, ela [**geração de energia solar**] é a menos poluente então?

PP – Então, **comparada com àquelas usinas térmicas** que eu mostrei, que usam diesel, por exemplo, ou com **as nucleares**, por causa do lixo radioativo, é bem menos poluente sim.

A03 – **Mas tem pouco dessa solar ainda né**, precisava aumentar!

PP – A tendência é aumentar, seria legal que cada casa, comércio, pudesse ter os painéis nos telhados né, mas assim, ela é menos eficiente que outras formas de geração de energia elétrica, mas tem várias pesquisas tentando resolver essa questão.

A03 – Deve ser massa, mexer com isso!

PP – É uma área interessante de pesquisa sim, um caminho para vocês! (Trechos de conversas entre PP, A01 e A03, 16/09/2014, grifos nossos).

O trecho aponta para uma tentativa de contemplar o mundo vivencial dos alunos através do conhecimento científico, especificamente, mostrando uma aplicação do efeito fotovoltaico para geração de energia elétrica de maneira menos poluente que outras formas convencionalmente adotadas. Para Sanmartí (2002), isso denota traços da abordagem Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) no ensino de ciências.

Elá tem suas premissas a perspectiva de que a ciência escolar deve se conectar com os problemas cotidianos e servir para que os alunos possam compreender questões problemáticas do mundo real e atuar na busca de soluções.

Em seguida, serão evidenciados alguns trechos relacionados com o outro aspecto desse programa de ação voltado para o Ensino Médio: a elaboração de um gráfico relacionando a grandeza física “tensão elétrica” com a “distância lâmpada-célula”.

PP – Galera, junta as mesas de vocês que daí cabe certinho o experimento e sobre a mesa, deixem o suporte com a lâmpada fixo e vai afastando o outro. Vocês têm que medir, são duas coisas: A distância entre célula-lâmpada e a tensão mostrado na tela do multímetro e assim, para cada posição indicada na tabela do roteiro-relatório, anotem o valor da tensão fornecida.

PP – A célula já tá presa aqui na garra, não precisa apertar mais! Se vocês virem que está soltando, me chama! Não temos muitas células e não quero que quebre elas!

PP – Cuidado para não torcer os fios, senão pode escapar a solda e danificar a célula, que é frágil, blz!

PP – Pessoal, tentem deixar a célula aproximadamente na mesma altura da lâmpada.

A13 – Como faz isso professor, aperta aqui esse parafuso [da garra do suporte]?

PP – Isso, posiciona mais ou menos o meio da célula com o filamento da lâmpada e depois aperta aí mesmo, cuidado para não apertar a garrinha que está segurando a célula, porque senão pode quebrá-la!

A13 – Beleza!

PP – Pessoal, é muito importante não tocar na lâmpada incandescente porque ela esquenta muito é pode queimar vocês! (Trechos de fala de PP e de conversas entre PP e A13, 16/09/2014).

Essa questão dos cuidados com o conjunto experimental reflete o que Roehl (2012) aponta: o experimento enquanto objeto epistêmico na ciência escolar carece de uma investigação metódica; portanto, precisa ser manuseado com cuidado. Em alguns momentos, essa manipulação disciplinar é imposta quando os alunos se

desviam dela. Na sequência, destacamos trechos associados com as inscrições naquele contexto escolar.

A05 – Professor, o que são esses números aqui no negócio amarelo [multímetro digital] e qual valor eu anoto quando fica mudando aqui os números?

PP – Essas aí são as tensões que a célula fornece ao receber a energia luminosa da lâmpada.

A05 – Tá, mas tipo, fica mudando de 0,26 [volts] até 0,28 [volts].

PP – Tá, então você anota o valor médio disso, nesse caso aí 0,27 volts, tendeu?

A05 – Acho que sim!

A12 – Professor, e como que eu faço aqui nesse gráfico?

PP – Vamos a partir da sua tabela ó! [aponta para o roteiro], por exemplo, para a distância de 5 cm, qual o valor da tensão gerada? Olha na sua tabela! A12 – 0,52 [volts]

PP – Isso!, então com o lápis, você segue a linha dos 05 cm até encontrar o valor de 0,52 volts e faz um pontinho aqui! E depois, você faz isso para todos os outros.

A12 – Tá, blz!

A04 – Professor, aqui para fazer o gráfico, é só ligar os pontos?

PP – Não, não, eu vou aí te mostrar, você vai traçar uma linha que passa mais ou menos por todos os pontos!

A04 – Eu espero, acho que não entendi como faz (Trechos de conversas entre PP, A04, A05 e A12, 16/09/2014, grifos nossos).

Diferentemente da prática científica, no contexto escolar há pouco ou nenhum instrumento com a capacidade de produzir, sozinho, as inscrições; conforme retratado, “na maioria das vezes, são alunos e professores que produzem a forma escrita do que se faz nos equipamentos” (OLIVEIRA, 2009, p. 202). Isso denota uma interpretação híbrida a respeito das inscrições, pois em alguns casos a habilidade de quem faz as anotações pode assumir a função do próprio equipamento, o que geralmente é desempenhado pelo professor-experimento.

Ainda sobre a elaboração do gráfico, foi solicitado que os alunos buscassem identificar a relação entre as duas grandezas destacadas, ou seja, a tensão elétrica em função da distância entre a fonte luminosa e a célula. Isso gerou um evento interessante em termos analíticos.

PP – Pessoal, agora que todos os grupos já terminaram de traçar as curvas no gráfico, eu quero que vocês respondam o seguinte, o que acontece com os valores da tensão ao afastar a lâmpada da célula?

A03 – O valor diminui, ela possui um valor máximo ali para 5 cm de distância e depois vai diminuindo.

PP – Isso mesmo! Então, é isso que o gráfico está mostrando para a gente. E qual seria a explicação física para isso?

A01 – **Chega menos calor na célula né?**

PP – A01, você está achando que é o calor que está afetando?

A01 – Acho que sim, porque você falou que se eu levar no Sol, funciona não é?

PP – Pessoal, atenção aqui!! Seguinte, surgiu uma questão aqui interessante e bem importante para gente entender o fenômeno deste experimento, beleza, Eu expliquei no começo, mas quero deixar mais claro agora.

PP – Galera, **não é energia do calor que a célula transforma em elétrica, é energia luminosa**. Um de cada de grupo de vocês que tiver um celular com lanterna, eu vou desligar as lâmpadas incandescentes e então vocês apontem a lanterna do celular para a célula e vejam se funciona.

PP – E aí, que valor apareceu no multímetro?

A03 – Deu praticamente os mesmos valores [de tensão elétrica]!

PP – A lanterna do celular esquenta como a lâmpada incandescente?

A18 – Não, não esquenta nada!

A03 – Então não é calor!

PP – Isso mesmo! O calor até atrapalha na verdade, é a questão da luz e não calor, o fenômeno mais importante é a conversão da energia luminosa em elétrica, chamado de efeito fotovoltaico (Trechos de conversas entre PP, A01, A03, A18, 16/09/2014, grifos nossos).

O emprego da lâmpada incandescente propiciou uma confusão entre duas formas de conversão de energia, a térmica e a luminosa. Em razão disso, a performance do híbrido se deu em torno de instigar competências para dirimir tal confusão com a mobilização de um novo actante, a lanterna de “luz fria” dos celulares, a fim de realçar a conversão da energia luminosa diretamente em elétrica.

Assim, as engrenagens que corporificam os conhecimentos das práticas experimentais são produzidas nos ambientes em que ocorrem, de acordo com as possibilidades que o híbrido professor-experimento tem para realizar acordos (OLIVEIRA, 2009).

Em suma, as performances associadas à prática experimental sobre a célula no contexto do Ensino Médio não resultaram numa realidade (MOL, 2008) ligada a um experimento embasado no ensino por investigação, mas também não foram predominantemente indutivista. Não se buscava apenas verificar ou comprovar uma teoria científica, mas corporificar um fenômeno — o efeito fotovoltaico — relacionando-o com aspectos da geração da energia elétrica dentro de uma abordagem CTS para o ensino de Física.

Com foco funcional e instrucional (LABURÚ, 2005) dentro do tripé “conteúdo”, “método de ensino” e “avaliação”, o desenvolvimento daquela aula experimental se mostrou, em vários momentos, uma dinâmica interessante educativa e mobilizou os alunos. Na seção seguinte, serão detalhados novas mobilizações, alianças e performances que culminaram na emergência de um “novo” conjunto experimental, agora no contexto de uma turma de graduação em Licenciatura em Física.

3.3 O CAMINHO DA MUDANÇA E AS PERFORMANCE DO HÍBRIDO “VERSÃO 2.0”

Nesta seção, continuaremos com a exposição e análise dos dados de eventos significativos para os objetivos desta investigação. O foco vai recair no processo de mediação técnica entre um professor (PP) e diversos não humanos envolvidos na construção e uso de outro conjunto experimental enquanto versão aprimorada daquele implementado na Educação Básica. Isso se efetivou no contexto de uma unidade de ensino do Instituto Federal do Paraná (IFPR) que, para além dos cursos voltados à formação profissional técnica, oferece cursos de nível superior voltados à formação de professores (QUEVEDO, 2018). Na região onde se instalou a unidade de atuação de PP, optou-se pela oferta da Licenciatura em Física, a partir do ano de 2015.

Nesse novo contexto institucional, PP passou a atuar junto às turmas do ensino técnico e o recém-criado curso de Licenciatura em Física. Na licenciatura assumiu, majoritariamente, as disciplinas de laboratório. Pelo fato de ter concluído o mestrado profissional recentemente, no qual se dedicou à temática da experimentação no ensino de Física, considerou-se que seria o professor mais adequado para assumir tais disciplinas.

Ademais, embora a escola estadual em que havia atuado tivesse oferecido algumas possibilidades de implementar atividades experimentais, o IFPR apresentava condições melhores de trabalho em diversos aspectos — mesmo em curso superior recém implementado. Diferente daquele contexto estreitamente ligado ao ensino escolar, no IFPR, parte significativa da carga horária poderia ser dedicada às atividades de pesquisa, extensão ou inovação, além de haver um tempo destinado à preparação das aulas.

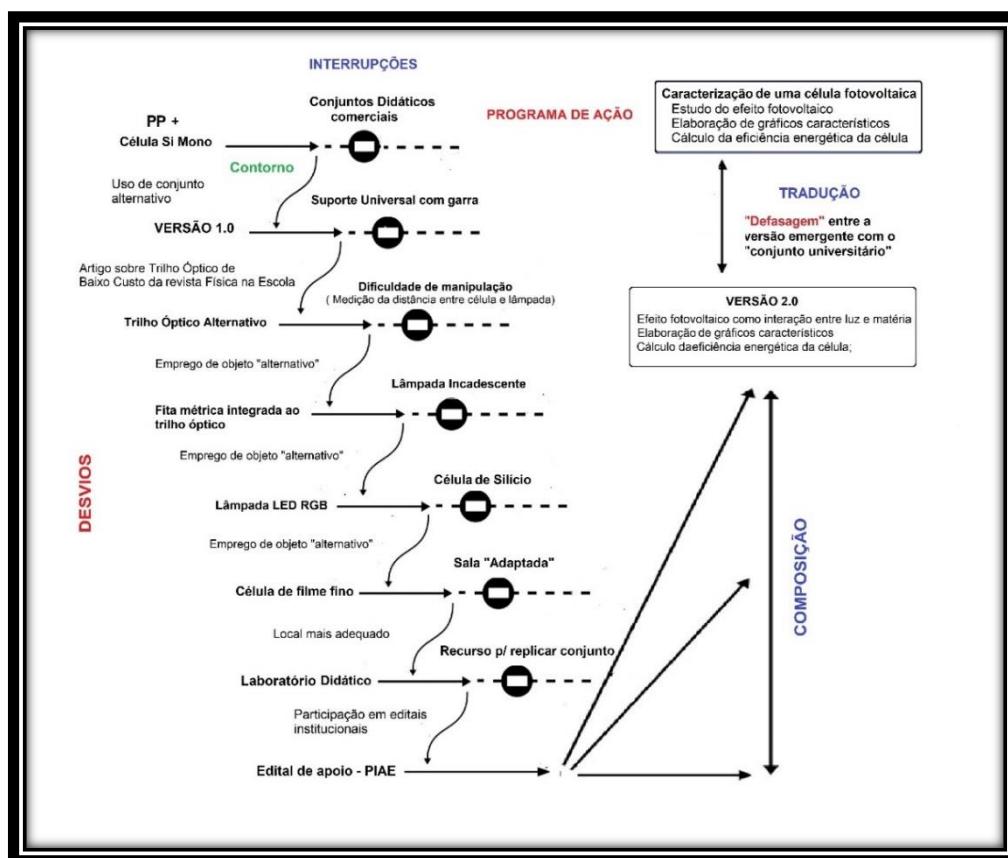
Consonante a isso, o campus contava com dois laboratórios destinados às aulas práticas dos cursos oferecidos naquela unidade, contanto com alguns equipamentos didáticos comerciais que poderiam ser usados. Isso retrata o que já indicava Moreira (2018): em geral, as condições de trabalho no Ensino Superior são muito boas.

Contudo, nos três primeiros meses de atuação junto aos laboratórios — fevereiro a abril —, após a ambientação, PP se dedicou a organizar e catalogar materiais. Isso resultou na identificação de carências relacionadas aos aparelhos, como a ausência de conjuntos referentes à Física Moderna e Contemporânea (FMC). Esses

apontamentos retratam o caso singular dos Institutos Federais naquele período de consolidação do curso de Física. Embora já tivesse uma estrutura considerada adequada, a busca por implementar a verticalização²⁰ nessas instituições leva a desafios que envolvem aquisição de recursos financeiros para a aquisição de equipamentos necessários para o curso (QUEVEDO, 2008).

Assim, ao ter em mente que assumiria a disciplina de Laboratório de Física IV no segundo semestre daquele ano letivo e considerando que também não haveria um conjunto análogo ao da universidade, foi inicialmente planejado replicar a “versão 1.0”, utilizada anteriormente. A partir disso, identificamos as interrupções e performances (Figura 8) que culminaram no desenvolvimento da chamada “versão 2.0” do conjunto experimental, que ocorreu de maio a agosto de 2016.

Figura 8 – Representação das performances associadas ao desenvolvimento da “versão 2.0”



Fonte: Adaptado de Latour (2016)

²⁰ A verticalização, conforme aponta Quevedo (2008), pode ser compreendida como a oferta, no mesmo campus, de cursos em diferentes níveis, oportunizando um processo formativo aos alunos desde o Ensino Médio até a Pós-Graduação, assim como o compartilhamento e a otimização da infraestrutura e do quadro de pessoal.

Após a implementação do experimento na Educação Básica, PP manteve consigo algumas unidades das células solares retiradas do pequeno painel solar. Diante da ausência de conjuntos didáticos comerciais voltados para conteúdo de Física Moderna, a primeira alternativa que buscou foi replicar a “versão 1.0” do conjunto, pois era possível ter acesso a um multímetro e a suportes universais similares àqueles do aparato anterior.

Contudo, embora tenha sido um importante aliado para tornar viável a implementação do experimento no Ensino Médio, o suporte universal foi considerado um obstáculo (Figura 8) ao longo daquela aula experimental.

A03 – Meio ruim de fazer a prática na mesa né, **o suporte fica meio instável**, não afeta os valores não? Tipo, a qualidade?

PP – A03, afeta sim né. Tem a questão dos erros experimentais, mas no nosso caso aqui, nós queremos conhecer a curva e algumas propriedades da célula, é aceitável.

A03 - Mas tipo em laboratório né, tipo de pesquisa, tem que ser mais cuidadoso né?

PP – Sim, isso, mas ainda vou melhorar este conjunto, com os dois suportes não é prático, **o alinhamento entre a lâmpada e a célula não fica muito bom** (Trechos de conversa entre PP e A03, 16/09/2014, grifos nossos).

As dificuldades estavam associadas com a fixação da célula e o alinhamento entre ela e a lâmpada (figura 7), o que era considerado problemático durante a obtenção dos dados experimentais. O contorno empregado partiu de possibilidades apresentadas num artigo do periódico *Física na Escola*, em que um dos objetivos era divulgar aparelhos experimentais desenvolvidos por pesquisadores e professores que possam ser implementados nos mais variados contextos educacionais.

Tal artigo orientava para a construção de um trilho óptico alternativo com a adaptação de canaletas plásticas, tipicamente voltadas para o acondicionamento de cabos elétricos em instalações elétricas sobressalentes (SILVA, 2004). Nesse contexto investigativo, isso retrata uma relação próxima de PP com a experimentação voltada para o ensino de Física amparada na pesquisa aplicada, sobretudo em alguns resultados da produção técnica associada aos recursos instrucionais, principalmente materiais de laboratório alternativos ou de baixo custo (MOREIRA, 2018).

Da mesma forma, como consequência do emprego dos suportes universais, identificou-se uma dificuldade na medição da distância entre a célula e

lâmpada, considerado um elemento importante para posterior elaboração dos gráficos característicos. Com isso, entrou em cena um novo artefato: uma fita métrica de costura foi fixada junto ao trilho óptico para facilitar a aferição de tal grandeza.

Superada a questão da instabilidade, outro não humano — a lâmpada incandescente —, embora tenha se mostrado importante para a constituição da primeira versão, foi considerada problemática ainda durante o uso (subseção 3.2.1) com os alunos da Educação Básica, em virtude do aquecimento daquele dispositivo.

Sendo assim, entrou em cena um novo tipo de fonte luminosa, a lâmpada RGB, composta por um Diodo Emissor de Luz (LED), constituído de três cores primárias para a luz: azul, verde e vermelho. Por meio de um controle remoto, ela possibilita a formação de diversas cores do espectro visível. Ainda, por se tratar de uma “lâmpada fria”, permitiria demonstrar aos estudantes que o fenômeno envolvido no experimento se tratava exclusivamente da conversão direta de energia luminosa em elétrica.

Além da substituição da fonte de luz, a célula solar de Silício monocristalino, que foi um actante crucial para a composição da primeira versão, revelou ser um agente que interrompeu o curso de ação (figura 8) no desenvolvimento dessa segunda versão. Isso se deu pela quantidade limitada de células disponíveis para uso em conjunto com as fragilidades desse actante; devido à pequena espessura, elas quebravam facilmente. Ademais, houve a dificuldade de soldar, diretamente nelas, os cabos elétricos necessários. Este obstáculo foi contornado pelo encontro de PP com um novo aliado não humano no processo: a célula solar de filme fino²¹ (figura 9).

L04 – PP, e qual que é dessa célula que você falou?

PP - Então, eu estava numa loja de departamentos e vi essas células que fazem parte de luminárias de jardim, na hora eu percebi que elas seriam perfeitas para o conjunto. Então, eu fui até o gerente e perguntei se não poderia me doar algumas, expliquei que era professor de escola pública e, ele me deu algumas unidades que estavam danificadas.

PP – Uma colega de escola, professora de Ciências, por coincidência, e por saber que eu aproveitava objetos para fazer experimentos, me deu várias luminárias também.

L04 – Mas daí serve para fazer o experimento?

²¹ Os filmes finos são empregados em diversos materiais que compõem dispositivos eletrônicos. Tais filmes possuem camadas com espessuras que variam desde alguns angstroms (10^{-10} m) até dezenas de micrões (10^{-6} m). Os filmes finos são feitos com metais, isolantes, semicondutores ou supercondutores, dependendo da aplicação desejada (REZENDE, 2014).

PP – Cara, a maioria era só a bateria da luminária ou o LED que estavam estragados, as células estavam intactas, então eu fiz uma adaptação nela, tirei todo o miolo, conectei os cabos banana e o potenciômetro.

L04 – Nunca tinha visto!

PP – Então, a célula, na verdade, serve para carregar a bateria ao longo do dia e então a noite, a bateria alimenta o LED da luminária, luz bem “fraquinha” só para iluminar o jardim mesmo durante a noite, é coisa para enfeitar, ornamental.

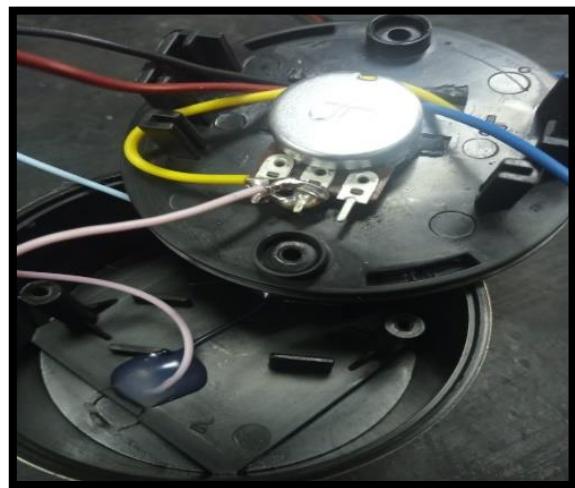
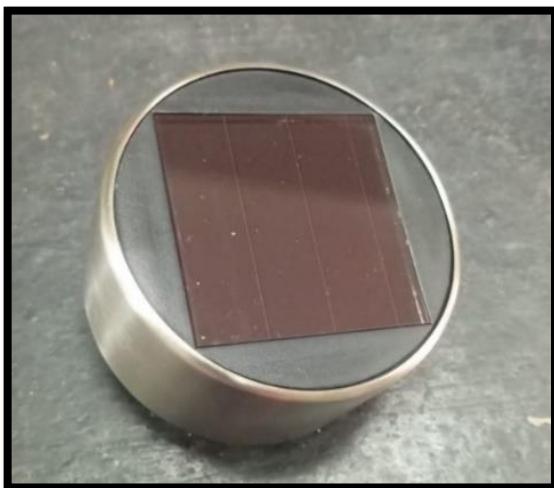
L01 – No bairro que eu moro tem!

PP – Legal! (Trechos de conversas entre PP, L01 e L04, 13/10/2016, grifos nossos)

Primeiramente, esse encontro mostra que, ao longo do processo de construção do conjunto experimental, muitas vezes o agente tem um objetivo, mas o acesso a ele pode ser interrompido pelos obstáculos. Assim, “o desvio torna-se a opção. O agente, frustrado, vagueia numa busca insana e em seguida, por intuição, [...] agarra outro agente — um parceiro, uma corrente elétrica — retorna à tarefa anterior, remove o obstáculo, alcança o objetivo” (LATOUR, 2001, p. 209). Ressalta-se, ainda, que o professor precisou ultrapassar os limites daquele laboratório para buscar auxílio de parceiros internos e externos, a fim de que as práticas científicas da aula experimental pudessesem funcionar e, consequentemente, a própria disciplina de laboratório de Física pudesse prosperar (LATOUR, 2001).

Consonante a isso, essas células de filme fino foram consideradas adequadas, pois ficavam acondicionadas em uma estrutura metálica (figura 9) e protegidas por uma “janela de vidro” para evitar possíveis danos ao material — já que eram ainda mais frágeis que os dispositivos de Silício cristalino.

Figura 9 – Célula de filme fino utilizada na segunda versão do conjunto experimental



Fonte: o autor

Devido a essa característica, foi possível adaptar em seu interior o circuito elétrico (figura 9), necessário para realizar as medições associadas ao cálculo da eficiência energética para esses dispositivos (TOGINHO FILHO; LAURETO, 2010). Ademais, mesmo que naquele momento tais células tenham sido obtidas sem custo, era necessário angariar recursos financeiros (figura 8) para adquirir materiais suficientes para realizar a aplicação do conjunto experimental.

Tais recursos foram captados pela participação de PP em editais de apoio institucionais oferecidos pelo IFPR. Assim, o experimento da célula foi inserido dentro de um projeto de extensão — em conexão com o ensino — denominado “Física Moderna Nota 10”. Esse projeto tinha como objetivo, justamente, construir aparatos experimentais sobre FMC com materiais alternativos e de baixo custo.

Em termos de local, no contexto do Ensino Médio se fez necessário o uso de uma sala adaptada (seção 3.2), mas não era considerada a melhor opção, pois o deslocamento da efetivação daquela aula para a sala de multimeios demandou a disponibilidade, por exemplo, de “réguas de tomada” para fornecer energia aos conjuntos. Na “versão 2.0”, essa adversidade foi superada, pois havia um laboratório específico para o curso de Física que continha tomadas distribuídas ao longo de toda a bancada didática, o que permitiu manter o conjunto estável e fornecer energia elétrica ao aparelho de maneira mais segura.

Isso retrata uma aproximação com o conceito de *affordance*, (GIBSON, 1986; LATOUR, 2012), associado às possibilidades que um ambiente ou objeto oferecem para um agente particular. De maneira mais específica, Broch (2010, p. 25), expõe que

[...] **tais possibilidades precisam ser percebidas pelo agente** [...] Assim, faz com que o agente perceba uma possibilidade de ação [...]. Assim, uma **affordance é o produto das relações entre estruturas físicas e o intelecto dos seres vivos**. A ação decorrente dessa relação está comprometida, também, com a escala e as capacidades físicas do agente, como força, produção de movimentos, e outras [...]. Isso não significa que um affordance depende do agente. Elas existem como oportunidades, sejam usadas ou não (grifos nossos).

Assim, ressalta-se mais um aspecto da conjunção entre homem, objetos e ambientes: os diversos não humanos mobilizados ofereceram potencialidades que foram captadas por PP. Em outras palavras, como destacou

Latour (2012, p. 109), para além de “servir de pano de fundo para a ação humana, as coisas precisam autorizar, permitir, conceder, estimular, ensejar, sugerir, influenciar, interromper, possibilitar, proibir”. Em suma, a construção daquele conjunto experimental denota uma manifestação de *affordances* (HARRÉ, 2003).

Ademais, de forma análoga, a investigação de Blanco (2013) sobre elaboração de produtos de engenharia, também no caso da construção de conjuntos didáticos experimentais, aponta que “não há senão desvios e contornos” (p. 167) entre o objetivo e a realização”. Eles se ligam ao caráter exploratório da procura de soluções, às incertezas do contexto e a uma renovação da lista de especificações a partir de algumas das novas soluções que foram descobertas no processo.

Deste modo, como “resultado” da composição de PP com novos aliados não humanos — sobretudo a célula de filme fino (Figura 9), a lâmpada RGB e o trilho óptico alternativo —, surgiu a segunda versão do conjunto experimental (Figura 10). Latour (2001, p. 221) considera que, diante de um artefato, “isso jamais é o começo, mas o fim de um arrastado processo de proliferação de mediadores, em que todos os subprogramas pertinentes encaixados uns nos outros, encontram-se numa tarefa simples” (LATOUR, 2001, p. 221).

Figura 10 – “Versão 2.0” do conjunto experimental



Fonte: o autor

Diante desse movimento entre PP e os diversos actantes não humanos, a construção do conhecimento experimental não está ligada apenas à testagem de hipóteses e teorias, pois também se trata de um processo inventivo complexo. Nesse processo, a própria materialidade dos equipamentos e objetos é

negociada em diversos momentos, impondo opções e escolhas na busca pelo pleno estabelecimento de dado programa de ação (RIBEIRO *et al.*, 2021).

Ao comparar essa versão com aquela implementada no Ensino Médio, é possível destacar que a presença de novos artefatos provocou alterações significativas na composição final do conjunto, revelando o aspecto inovador pela qual se opera a tradução (CARDOSO; SANTAELLA, 2021): “a cada etapa, perdem-se algumas propriedades para ganhar outras, dentro das condições oferecidas em determinadas redes” (MELO *et al.*, 2007, p. 116).

Para além das questões sobre artefatos constituintes dessa segunda versão do conjunto, foi possível se aproximar dos objetivos inicialmente estabelecidos de acordo com o programa de ação. Contudo, embora a “conclusão” desse conjunto permita pôr em marcha três subprogramas de ação, há diferenças para aquele conjunto do contexto universitário, ou seja, essa segunda versão é uma tradução também em termos de objetivos a serem alcançados, o que novamente denota aspectos relacionados à transposição didática; mas agora no Ensino Superior.

3.3.1 As Performances do Híbrido na Aula da Licenciatura em Física

A partir da perspectiva adotada nesta investigação, foi evidenciado que, para o experimento poder ser realizado com algum sucesso, diversos actantes precisam ser devidamente mobilizados e direcionados para a aula experimental no curso de Física. Assim, nesta seção, o foco está nas performances do híbrido ao longo de sua atuação na busca pela implementação do conjunto didático — versão 2.0 — no contexto de um curso superior voltado para a formação de professores de Física.

A prática realizada estava inserida na disciplina de Laboratório de Física IV, a qual previa, em sua ementa, a realização de experimentos sobre princípios de Física Moderna. Diferentemente do Ensino Médio, o roteiro universitário utilizado junto aos licenciandos praticamente não tinha alterações.

PP – Noite pessoal, blz? Olha só, como eu já tinha comentado com vocês, eu adaptei mais um conjunto para a gente “ver” o efeito fotovoltaico, como uma espécie de aplicação de uma das formas de interação entre a luz e a matéria.
 PP – Nós vamos usar algumas células solares, que são uma espécie de mini painéis fotovoltaicos, esses painéis, são aqueles que o pessoal tem instalado nos telhados.

PP – Olha, vou entregar um roteiro para cada um, mas o relatório pode ser entregue um por grupo, como das outras vezes e vocês podem escolher o formato também, pode ser no *layout* de artigo ou do “Vê de Gowin”

L02 – Professor, no relatório precisa ter todas essas fórmulas aqui?

PP – Então, não precisa colocar todas essas fórmulas no relatório não, nosso foco será compreender o efeito fotovoltaico, construir alguns gráficos e estimar a eficiência dessas células.

L01 – Eu gostei desse modelo em Vê!

PP – Eu sou suspeito, é o que eu mais gosto também, ele é sintético mas a construção dele exige mais do que os outros modelos, a única desvantagem que eu vejo é para experimentos com muitos dados e gráficos (Trechos de conversas entre PP, L01 e L02, 13/10/2016).

Mesmo com o retorno do roteiro universitário, as falas indicam um cenário diferente das tradicionais aula de laboratório de cursos superiores de Física, centradas no modelo aplicacionista de teorias priorizando elementos de um método científico padrão (MARQUES; ORENGO, 2021). Percebe-se que, ao longo das aulas experimentais dessa disciplina, houve discussões a respeito do Vê de Gowin ou diagrama V. Esse instrumento heurístico foi inicialmente proposto para a análise do processo de produção de conhecimentos, focando nas partes desse processo e em como se relacionam (GOWIN; ALVAREZ, 2005); também serve para “desempacotar” conhecimentos documentados em artigos de pesquisas, livros, ensaios, etc. (MOREIRA, 2016).

Moreira (2016 p. 18), com base em cinco questões-chave, afirma que “a forma V do diagrama mostra claramente a produção de conhecimentos como resultante da interação entre dois domínios, um teórico-conceitual (pensar) e outro metodológico (fazer)”. Assim, entre as várias possibilidades de uso, ele pode ser muito útil no ensino de laboratório, no momento da avaliação e na substituição de relatórios típicos. Moreira (2016) o considera como potencial facilitador de aprendizagens — e foi dessa maneira que o diagrama V foi implementado naquela disciplina.

Ademais, destacam-se, na sequência, trechos considerados significativos para o objetivo desta investigação.

PP – Galera, seguinte, este roteiro que vamos usar é da universidade que fiz graduação e mestrado, mas eu pedi autorização para uso está, e no final, no relatório, não importa o modelo que vocês optarem, vocês façam a citação dele!

L11 – Olha, a gente vai fazer a prática igual os alunos de lá fazem?

PP – Praticamente, mas vamos adaptar de acordo com o nosso aparato permite.

L04 – Eu acho que o curso lá deve ser bem melhor do que o daqui, aqui o currículo tem muita disciplina de Educação, falta professor.

PP – Cara, aqui o curso está começando né, lá já tem desde a década de 1970 e tem a questão da pesquisa, tem vários professores né, mas como toda instituição pública também passa por dificuldades.

L04 – Mas tem os materiais, tem não? Um colega meu, faz outro curso, mas disse que tem uma estrutura boa.

PP – Pelo tempo do curso, têm sim, mas o diferencial de lá é que tem alguns técnicos dedicados ao curso que mantêm os equipamentos em condição de uso, tem uma oficina e um funcionário que faz a maioria das peças dos experimentos, mas cara, não tem nada novo não viu, por exemplo, tem aqui um trilho linear que o IF comprou que tem o compressor próprio, comprado. O de lá, eles adaptaram um aspirador de pó, o governo estadual não tem investido não viu.

L05 – Cara, eu vejo que para nossa região, o curso é um diferencial, os professores são bem qualificados, e aquela coisa né, a grama do vizinho sempre parece mais verde né! (Trechos de conversas entre PP, L04 e L05, 13/10/2016).

A presença do “roteiro universitário” e a falta de conjuntos didáticos comerciais motivou conversas entre os actantes a respeito de temas mais locais, como o currículo do curso e a “qualidade” dessa licenciatura quando comparada a outras universidades. De maneira mais ampla, também falaram de aspectos relacionados às políticas públicas voltadas para a Educação Superior, o que retrata que mais do que apenas meros informantes, “eles — os actantes — também compararam, eles também produzem tipologias, eles também elaboram padrões, eles também espalham suas máquinas tanto quanto suas organizações, suas ideologias, seus estados de espírito” (LATOUR, 2012, p. 217).

Ademais, destacamos trechos a respeito do uso de materiais alternativos na composição do conjunto experimental nesse contexto.

PP – Pessoal, quero mostrar um pouco mais de perto os materiais que vamos usar na prática, beleza!

PP – Então, nós vamos usar uma célula solar de filme fino; um potenciômetro; uma lâmpada RGB para simular “várias cores” de luz visível; um trilho óptico alternativo já com a fita métrica e dois multímetros digitais;

PP – E assim, por exemplo, a célula que nós usamos lá na universidade também era adaptada, é claro que não devemos nos contentar só com o uso de materiais alternativos. Como eu falei, com o tempo, nós vamos conseguir comprar conjuntos comerciais sobre Física Moderna, eu acho essencial também para o nosso curso.

L02 – E essa fita métrica aqui de costura? Minha mãe tem parecida dessa que usa lá em casa!

PP – Então, esse trilho óptico, geralmente é usado para experimentos de óptica. Já a fita é para orientar a distância da fonte de luz para a célula e mesmo sendo um material comum, tem fitas semelhantes a essa em vários conjuntos comerciais também.

PP – Gente, dá para fazer experimentos de qualidade com materiais alternativos também viu, depois nós comparamos as curvas dessa célula com a curva que tem no livro, para vocês verem!

L03 – Ficou legal professor!

PP – É isso que eu estava falando para L04, **vocês como futuros professores de Física**, pelo menos tem a expectativa disso né, **tem que adaptar, se virar para fazer atividades experimentais** (Trechos de conversas entre PP, L02 e L03, 13/10/2016, grifos nossos).

As performances retratam a busca por manter um ciclo de credibilidade estável em torno dos dados a serem obtidos com aquele aparato experimental. Para Latour (2000), é necessário alinhar os interesses dos atores em jogo, pois, caso contrário, uma desconfiança exacerbada sobre a “qualidade” daquele conjunto poderia multiplicar modalidades que colocariam a realidade dos fatos científicos em risco. Ribeiro *et al.*, (2021), por exemplo, consideram que a estabilidade conquistada por meio de disputas e negociações é que tornam um fenômeno real e convincente.

Juntamente com a busca pela credibilidade dos materiais alternativos, houve um esforço performativo para incentivar, encorajar e estimular os futuros professores de Física a também implementarem atividades experimentais de baixo custo quando forem atuar na Educação Básica. Isso mostra uma aproximação do híbrido com a literatura da área de Ensino de Ciências, a qual tem indicado o emprego desse tipo de material como uma forma de enfrentar a ausência de recursos e a falta de laboratórios nas escolas.

Na sequência, destacamos trechos representativos sobre como o efeito fotovoltaico foi abordado no contexto da Licenciatura em Física.

L05 – PP, você falou que o fenômeno seria fotovoltaico, mas não seria efeito fotoelétrico?

PP – Então, olha só, uma primeira diferença é que para conseguir observar o efeito fotoelétrico, você precisa criar um vácuo, aqui nessas células não, então essa seria uma primeira diferença. Outra coisa mais importante, digamos, é que no fotoelétrico, você tem os elétrons literalmente sendo ejetados da superfície do material, na célula não, você tem movimentação sim dos elétrons, mas eles criam uma diferença de potencial, uma tensão elétrica.

L05 – Acho que entendi!

PP – Olha a figura 1 do roteiro que te passei, é um esquema bem simplificado do modelo de bandas energéticas que comentei há pouco. São regiões que você pode encontrar elétrons, entre estas bandas, você tem um “vazio” chamado *gap*. Para conseguir saltar, os elétrons precisam receber algum tipo de energia, no caso da célula, os fótons transferem sua energia a estes elétrons que saltam e criar uma tensão elétrica. Se eu conecto isso a um circuito, eu tenho um fluxo ordenado de carga, o que me dá uma corrente elétrica.

L05 – Isso aí já é Física Moderna né?

PP – É isso mesmo, é uma aplicação né, nesse modelo, por exemplo, nós consideramos a luz como partícula, em que a energia é proporcional à frequência da luz, isso foi proposto por Planck e confirmado por Einstein.

L01 – A gente viu um pouco disso na disciplina de Física Conceitual (Trechos de conversas entre PP, L01 e L05, 13/10/2016).

As performances estavam relacionadas a aspectos do efeito fotovoltaico enquanto fenômeno físico, assim como sua relação com o modelo de bandas energéticas de materiais semicondutores, como as células empregadas no experimento. Outro ponto a se destacar foi a busca pela diferenciação desse fenômeno para o efeito fotoelétrico.

Isso retrata que, o fato de serem estudantes de um curso superior, nível em que conceitos, modelos, leis e teorias científicas já podem ter sido conquistadas e cristalizadas — caixas-pretas —, não significa que todos os licenciandos o fizeram ou acessaram. É necessário recriar, reconquistar e, principalmente restabilizar — em nosso contexto — o efeito fotovoltaico (RIBEIRO et al., 2021).

Consonante a isso, evidenciamos alguns aspectos relacionados à presença das células solares nesse contexto.

PP – Pessoal, olha só, eu vou passar aqui, uma luminária montada, uma célula de Silício monocristalino e uma célula de filme fino desmontada, para vocês verem de perto como é.

L03 – Essa fininha aqui, de filme fino, é de Silício também?

PP – Então, ela é de outra tecnologia, outro material, é uma espécie de filme fino, à base de Cádmio, esse filme é um substrato plástico que se deposita o semicondutor e tem um vidro para proteger, porque é frágil, está passando uma pelos grupos que está danificada para vocês pegarem.

L02 – É bem fininha né!

PP – Sim, sim, você pode ver que esse plástico é ainda mais fino que as de Silício, por isso a definição de filmes finos, esse material é depositado então sobre uma película de alguns milímetros de espessura, nesse caso, polímero né e depois vai sobre o vidro igual essa que passei para vocês olharem.

L04 – Então Brasil não fabrica nenhum dos tipos né?

PP – Cara, não, por enquanto, o que sei é que uma das melhores placas vem do Canadá sabe, mas a China também produz.

PP – E assim ó, eu tenho mais algumas dessas **células de filme fino que eu posso doar para vocês**, assim quando forem fazer com os alunos, **acho legal vocês mostrarem para eles** terem acesso, porque **já está no cotidiano** né, tem que aproveitar esses materiais, **discutir** também a questão da **geração de energia elétrica**, essas coisas (Trechos de conversas entre PP, L02, L03 e L04, 16/10/2016, grifos nossos).

De maneira similar ao que ocorreu anteriormente (subseção 3.2.1), é possível identificar um discurso performativo para incluir tais artefatos no contexto da atividade experimental, a fim de transformá-las em objetos epistêmicos (KALTHOFF; ROEHL, 2011; ROEHL, 2012). Isso porque foram destacadas as diferenças entre as

células de filme fino e as de Silício monocristalino em conexão com aspectos sobre a fabricação desses dispositivos.

Para além disso, há um incentivo por parte de PP para que os futuros professores levem esses artefatos consigo e apresentem aos seus alunos em potenciais aulas experimentais sobre o tema. Isso mostra uma tentativa de divulgar aquele experimento dentro de uma abordagem CTS para o ensino de Física (SANMARTÍ, 2002), sobretudo relacionada ao tema da geração de energia elétrica.

Ademais, outro aspecto que nos permite distanciar essa aula das práticas experimentais típicas de cursos superiores é que, mesmo diante de um roteiro altamente estruturado, foi apenas por meio das performances do híbrido que a etapa associada à manipulação dos instrumentos e dos procedimentos necessários para se efetuar as medições se efetivou.

L04 – PP, aqui, vamos pegar esses valores assim mesmo, tipo 0,456V?

PP – Pessoal, mantenham o número de algarismos significativos em todas as medições tá, se vocês usarem, por exemplo, três casas depois da vírgula, mantenham em todos. Vocês podem escolher isso neste multímetro.

PP – Lá no Ensino Médio, vocês usem o número de casas depois da vírgula que o aparelho que vocês encontrarem permitir.

Iá no Ensino Médio,

L02 – Prof., como faz quando os valores ficam variando muito no multímetro?

PP – Neste caso, você pega tipo a média sabe, por exemplo, se o final ficar variando entre 0,456V e 0,458V, você anota 0,457.

L01 – PP, o que é essa incerteza aqui que o roteiro pede para anotar?

PP – Vocês viram a questão de introdução a Teoria dos Erros ou aquela coisa de desvio padrão, desvio padrão da média ?

L01 – Pelo que lembro não, a gente fez umas práticas com aqueles, algumas simulações.

PP – Olha só, é importante ter a noção dos erros experimentais, que estão presentes em todas as medidas, mas o nosso foco, está na curva característica desta célula

L12 – Está certo esse gráfico, era para ter essa cara mesmo?

PP – Deixa eu ver, isso, isso mesmo, pessoal a curva característica da célula tem esse aspecto mesmo, olhem na tela do computador, lembra um joelho, está certinho! (Trechos de conversas entre PP, L01, L02, L04 e L12, 13/10/2016).

Assim como na aula do Ensino Médio, ficou evidente o papel híbrido desempenhado pelas inscrições, sobretudo para os gráficos elaborados no editor de planilhas “Excel”, pois coube ao PP, junto com o *software*, buscar dar sentido àquelas curvas. Postos diante daquele instrumento, os atores humanos assistiam a um “espetáculo audiovisual”, pois há um conjunto visual de inscrições produzidas pelo “Excel”, de maneira concomitante a explanações verbais na tentativa de se fornecer evidências coletivas aos fenômenos científicos observados (ROEHL, 2012).

Esse processo busca gerar um efeito contundente sobre a convicção de quem assiste, e o professor “está simplesmente comentando, enfatizando, indicando, pondo os pingos nos Is e os traços nos Ts, sem acrescentar alguma coisa, mas também é certo que os gráficos e os cliques por si só não teriam sido suficientes” (LATOUR, 2000, p. 117).

Na sequência, graças às possibilidades materiais oferecidas por aquela célula de filme fino, foi possível adaptar junto a ela um potenciômetro e um circuito elétrico. Eles permitiram, a partir de um gráfico específico — Potência vs Corrente elétrica —, calcular o valor da eficiência daquele artefato (TOGINHO FILHO; LAURETO, 2010).

PP – Olha só, pessoal, beleza então, agora só falta a gente fazer o gráfico que vamos usar para calcular a eficiência da célula. Neste procedimento, a gente está simulando em menor escala, é claro, o desempenho das placas solares ao conectarmos um aparelho resistivo nela.

L05 – Como assim PP?

PP – A célula seria o painel solar e o potenciômetro, cumpre o papel de um aparelho doméstico resistivo.

L05 – Interessante hein!

L03 – Deu em torno de 2%, é isso mesmo?

PP – Provavelmente, será menor que 10% tá, as comerciais, na média, ficam em torno de 16% de eficiência.

L04 – E por que essas aqui ficam tão longe?

PP – Principalmente por causa das condições experimentais né, tem a ver com a lâmpada que é usada nos painéis comerciais, ela simula a luz solar e emite, de maneira bem precisa, 1000W/m² no painel.

PP – Mas assim, essa eficiência dos painéis ainda é menor do que outras fontes de energia, como a termoelétrica, nuclear e muito menor que a hidroelétrica.

L05 – E dá para aumentar a eficiência dessas células?

PP – Então, pelo que pesquisei, depois de prontas não, então você precisa compensar isso, colocando mais e mais placas, para aumentar a área de exposição ao Sol.

PP – Eu acho que possuindo o material, essa prática de calcular a eficiência energética é bem interessante, porque está em várias áreas da Física, inclusive na Mecânica então vocês podem explorar isso já no primeiro ano do Ensino Médio (Trechos de conversas entre PP, L03, L04 e L05, 13/10/2016).

As performances envolvidas no subprograma relacionado ao cálculo da eficiência energética da célula ressaltam a proposição de uma abordagem CTS para o ensino desse conceito (SANMARTÍ, 2002). A partir dos resultados obtidos naquele contexto de aula experimental, foi sugerida a exploração dessa temática conectada à geração de energia elétrica. Há, portanto, uma aproximação de tais performances com o conceito de energia enquanto conceito unificador no ensino de Física. Para Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011, p. 279),

[...] energia é um sutil “camaleão” do conhecimento científico. Transforma-se, espacial e temporalmente, na dinâmica mutável dos objetos, fenômenos e sistemas [...]. A **grandeza energia** é uma ponte segura que **conecta os conhecimentos específicos de C&T**. Conecta-os também a outras esferas do conhecimento, às **contradições do cotidiano permeado pelo natural**, tanto fenomênico como tecnológico. É essa **grandeza** que pode e deve, mais do que qualquer outra, **balizar as tendências de ensino** que priorizam hoje as **relações entre ciência, tecnologia e sociedade** (grifos nossos).

Assim, foi possível evidenciar que as performances do híbrido ao longo dessa aula buscavam alcançar os conhecimentos específicos associados a uma aula experimental de um curso superior. No entanto, elas estavam majoritariamente voltadas para estimular o uso de atividades experimentais com materiais alternativos e de baixo custo na Educação Básica.

Isso se efetivou pela participação ativa desse híbrido ao longo da realização de todas as etapas envolvidas: exposição dos objetivos e dos fundamentos teóricos envolvidos — sobretudo o efeito fotovoltaico —, realização da montagem, adoção dos procedimentos experimentais, realização das medidas e análises dos dados. Com isso, foi possível tornar aquela prática experimental numa potencial mediadora da Transposição Didática dos saberes físicos voltada para o Ensino Médio.

Parafraseando Latour (2001), é um engano afirmar que é apenas o professor que ensina nas aulas experimentais, pois ensinar é uma propriedade de toda a associação de entidades. Neste contexto investigativo, essa associação inclui os não humanos destacados, sobretudo a célula fotovoltaica.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E “ANTECETERA”

Ao longo desta investigação, buscou-se cumprir uma das premissas fundamentais da Teoria Ator-Rede, conforme apontado por Bruno Latour: seguir os nativos na tentativa de compreender em que a existência coletiva se transformou nas “mãos” de atores envolvidos em práticas de ensino de Física. Ademais, para além dos já “cansados” humanos presentes nas questões relativas à experimentação nessa área, optou-se por compartilhar da incerteza latouriana a respeito dos objetos. Há muito tempo eles também enxameiam na educação científica, mas na maioria das vezes são tidos apenas como “pano de fundo” ou mesmo “janelas invisíveis” para humanos empoderados.

Adotar tal incerteza se revelou um desafio, pois esse mundo material possui uma dimensão elusiva, silenciosa e complexa e como nos alertou Latour, são necessários alguns truques para “dar voz” àqueles que muitas vezes não podem falar e, nesse sentido, a postura adotada nessa investigação foi a de buscar práticas associadas a uma “educação científica em ação”.

Assim, de maneira específica, buscou-se responder à seguinte questão: como os atores humanos e não humanos se associaram no processo de construção e uso de um experimento didático de física e quais são os efeitos dessa associação no ensino? Uma primeira resposta evidenciou o estabelecimento de um programa de ação enquanto um dos significados da mediação técnica estabelecida entre um professor com objetos com os quais teve contato numa aula experimental de um curso de mestrado profissional.

Assim, um artefato em especial — uma célula solar — afetou esse professor a ponto de direcioná-lo em busca da implementação de um experimento similar àquele do contexto universitário na sua realidade de trabalho junto ao Ensino Médio. Isso permitiu caracterizar tal artefato enquanto um mediador nos termos latourianos, pois, por intermédio da sua ação, levou outro a agir e sobretudo, produziu diferenças no processo investigado.

Dentre as etapas ou objetivos desse programa — caracterização de uma célula fotovoltaica para fins didáticos — estavam o estudo do efeito fotovoltaico, a elaboração de curvas (gráficos) características de uma célula solar e o cálculo da eficiência energética deste dispositivo. Em seguida, para cumprir esse programa de ação em dois contextos de ensino de Física — Educação Básica e Licenciatura em

Física —, evidenciamos resultados sobre o processo de construção desse experimento didático.

Assim, devido à impossibilidade de reproduzir o mesmo conjunto experimental daquele contexto universitário (seção 3.1), tido como ideal, foi necessário contornar diversos obstáculos relativos a questões materiais, estruturais e curriculares.

Nesse sentido, foram encontradas dificuldades na aquisição de materiais específicos para composição dos conjuntos didáticos, bem como outros objetos considerados inadequados em termos de manipulação, segurança e obtenção de dados experimentais. Ademais, foram enfrentados obstáculos relativos à estrutura física dos ambientes de ensino, devido às questões de arquitetura e divisão dos espaços, tidos como insuficientes para atendimento das atividades experimentais que compuseram essa investigação.

Nesse processo, foram descritas e analisadas as performances empregadas pelos actantes humanos e não humanos: em cada obstáculo que interrompeu os cursos de ação, eles precisaram avaliar suas atuações e redirecioná-las para novos rumos, mediante manifestação de competências.

Isso culminou, em termos materiais, na produção de duas versões (seções 3.2 e 3.3) de um conjunto experimental associado à célula fotovoltaica. Ele foi constituído, principalmente, por materiais alternativos e/ou de baixo custo que, devido às possibilidades oferecidas por cada uma daquelas redes, apresentaram-se como traduções daquele primeiro conjunto universitário.

E, embora, aparente ser simples e rotineiro promover adaptações de materiais para serem empregados em aula experimentais (seções 3.2 e 3.3), apenas para que o experimento pudesse ser realizado, com alguma possibilidade de sucesso, foi necessário manter em circulação, ao mesmo tempo, os diversos actantes devidamente mobilizados e direcionados neste contexto, para um objetivo comum.

Para além das questões materiais dos aparelhos, o programa de ação inicialmente traçado necessitou passar por alterações e ser adequado a cada contexto de ensino. Isso se revelou como mais um aspecto da tradução latouriana em que foi possível aproximar-a da Transposição Didática.

Nesse sentido, a noção latouriana de tradução pode ser entendida como a possibilidade de um deslocamento real de informações por meio de várias versões de transferências, metáforas que possibilitam uma certa permanência de um

fato científico como o efeito fotovoltaico ao mesmo tempo que permite sua aplicação em diferentes contextos.

Portanto, para que uma aula prática possa ocorrer de maneira considerada adequada, não bastam investimentos e o desejo do governo, do mercado ou mesmo dos professores. Uma legião de atores humanos ou não humanos, necessitam ser recrutados e estar interligados em durante algum tempo e ainda com maior ou menor intensidade, por meio das associações, negociações, estratégias e competências para que um processo de materialização de uma atividade experimental possa se tornar viável.

Ademais, o repertório da mediação técnica nos ofereceu uma descrição simétrica e tolerante sobre processos que mesclaram, de maneira constante, uma variedade de entidades sociais e naturais que, em nosso contexto analítico, resultou na formação de um híbrido, ao qual denominamos de “professor-experimento”.

Assim, ao buscar responder à segunda parte da questão guia desta investigação — reflexos da associação no ensino —, evidenciamos que, em ambos os níveis de ensino, as performances desse híbrido buscaram, de maneira específica, corporificar e apresentar evidências coletivas a respeito do fenômeno efeito fotovoltaico.

Isso se deu pela constatação de que mesmo os fatos científicos mais consolidados — caixas-pretas — na Ciência, precisaram de um esforço performativo do híbrido para que possam ser recriados, reconquistados e possivelmente apreendidos diante de uma proposta de ensino disciplinar, conforme a investigada nessa pesquisa.

Ademais, no contexto da Licenciatura em Física, para além das questões associadas aos conteúdos científicos, evidenciamos que as performances do híbrido se voltaram majoritariamente para estimular que os licenciandos, enquanto futuros professores da área, usassem experimentos com materiais de baixo custo em suas aulas.

Consonante a isso, é possível compreender as performances do professor-experimento de forma análoga à investigação a respeito de um grande laboratório científico, desenvolvida por John Law, um dos autores principais da Teoria Ator-Rede ao lado de Bruno Latour.

Assim, é possível inferir — em nosso contexto investigativo — que as performances do híbrido estiveram associadas a quatro lógicas diferentes: empreendedora, burocrata, solucionadora de enigmas kuhnianos e carismática. Isso não se trata de uma questão de caráter individual, mas de um ordenamento multidiscursivo que permitiu à execução daquelas práticas de maneira relativamente estável naqueles ambientes.

Assim, foi necessário, por exemplo, performar de maneira empreendedora e burocrática para se conseguir recursos financeiros por meio dos editais institucionais bem como “lidar com o carisma” para conseguir aliados internos e externos considerados importantes para se efetivar aquelas práticas.

Consonante a isso, percebemos que seria inviável incluir, descrever e analisar todas as performances que ocorreram durante a elaboração e aplicação do experimento sobre a célula fotovoltaica, em virtude das próprias limitações da pesquisa acadêmica (espaço, tempo, entre outros fatores).

Nesse sentido, tivemos que purificar os relatos, ordenando, selecionando, excluindo eventos e apresentando os momentos em que conseguimos identificar eventos significativos que retrataram as performances do híbrido ao longo de suas atuações. Dessa forma, considera-se incluir, em análise futuras, elementos que permitam aprofundar questões sobre a formação do professor, estimulada pelos artefatos que negociou, mobilizou e se aliou diante do processo de mediação técnica destacado.

Isso pode seguir duas trilhas investigativas, uma relacionada ao aprofundamento da mediação entre o professor-pesquisador (PP) e outra destinada a pesquisar os meandros da mediação técnica entre os licenciandos em Física e os não humanos componentes de conjuntos didático-experimentais. Isso porque, de acordo com a ANT, não se forma um professor somente pela força de vontade individual, tampouco por ter recebido uma certificação, mas também pela miríade de não humanos com que interage a cada momento.

Outra possibilidade de investigação profícua nesse campo consiste em analisar aspectos da aprendizagem em Física, considerando para além das relações entre humanos, o híbrido “aluno-experimento” formado a partir da mediação técnica entre os aparatos experimentais e os alunos e/ou estudantes de diferentes níveis e/ou modalidades de ensino.

Em suma, ao direcionarmos o olhar analítico para práticas experimentais associadas ao ensino de Física com uma abordagem latouriana, obtivemos pistas importantes para vislumbrar uma educação menos antropocêntrica e, desse modo, viabilizando uma compreensão mais profunda da relação humano/não humano enquanto aspecto central desses processos educativos

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176-194, 2003. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v25_176.pdf. Acesso em: 30 jun. 2022.
- ARRUDA, S. M.; **Entre a inércia e a busca**: reflexões sobre a formação em serviço de professores de física do Ensino Médio. 2001. 235f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Educação) – Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, 2001.
- ARRUDA, S. M.; SILVA, M. R.; LABURÚ, C. E. Laboratório didático de física a partir de uma perspectiva kuhniana. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 97-106, 2001. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/588/381>. Acesso em: 07 dez. 2022.
- ARRUDA, S. M.; PASSOS, M. M. Instrumentos para a análise da relação com o saber em sala de aula. **Revista de Produtos Educacionais e Pesquisas em Ensino**, Cornélio Procópio, v. 1, n. 2, p. 95-115, 2017. Disponível em: <http://seer.uenp.edu.br/index.php/reppe/article/view/1213/811>. Acesso em: 14 jul. 2022.
- ARRUDA, S. M.; PASSOS, M. M.; BROEITTI, F. C. D. O programa de pesquisa sobre a ação docente, ação discente e suas conexões (PROAÇÃO): fundamentos e abordagens metodológicas. **Revista de Produtos Educacionais e Pesquisas em Ensino**, Cornélio Procópio, v. 5, n. 1, p. 215-246, 2021. Disponível em: <http://seer.uenp.edu.br/index.php/reppe/article/view/2328>. Acesso em; 14 jul. 2022.
- AZEVEDO, M. **Entre a bancada e a sala de aula**: a experimentação no período de ouro do ensino de ciências. Curitiba: Appris, 2020.
- BAUER, A. A. Itinerant Objects. **Annual Review of Anthropology**, Danvers, v. 48, n. 1, p. 335-352, 2019. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/pdf/10.1146/annurev-anthro-102218-011111>. Acesso em 08 fev. 2022.
- BAZZO, W. A.; GARCÍA PALACIOS, E. M.; GONZÁLEZ GALBARTE, J. C.; LÓPEZ CEREZO, J. A.; LUJÁN, J. L.; MARTÍN GORDILLO, M.; OSORIO, C.; PEREIRA, L. T. V.; VALDÉS, C.; VON LINSINGEN, I. **Introdução aos Estudos CTS** (Ciência, Tecnologia e Sociedade). Madrid: OEI, 2003.
- BLANCO, E. Uma cultura do protótipo: o projeto de um pulverizador de pintura. In: VINCK, D (Org.). **Engenheiros no Cotidiano**: etnografia da atividade de projeto e de inovação. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2013. p.149-169.
- BRASIL. **Guia de livros didáticos**: PNLD 2012: Física. Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, 2011. Disponível em: <<https://www.fnde.gov.br/index.php/centrais-de-conteudos/publicacoes/category/125-guias?dowload=5507:pnld-2012-fisica>. Acesso em: 20 dez. 2021.

BROCH, J. C. **O conceito *Affordance* como estratégia generativa no design de produtos orientado para a versatilidade.** 2010. 97f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Design) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

CAMILLIS, P. K. de; BIGNETTI, B.; PETRINI, M. de C. Percursos da teoria ator-rede nas pesquisas brasileiras em administração. **Revista Pensamento Contemporâneo em Administração**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 4, p. 93-114, 2020. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/588/381>. Acesso em: 07 dez. 2022.

CARDOSO, L. R.; PARAÍSO, M. A. Dispositivo da experimentação e produção do sujeito *homo experimentalis* em um currículo de ciências. **Educação em Revista**. Belo Horizonte, v. 31, n. 3, p. 299-320, 2015. Disponível em <https://www.scielo.br/j/edur/a/6QLW6gvtyLytkYTMShBJw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 22 set. 2020.

CARDOSO, T. de S. **A epistemologia da mediação em Bruno Latour**. 2015. 281f. Tese (Programa de pós-graduação em Tecnologias da Inteligência e Design Digital) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2015.

CARDOSO, T. de S.; SANTAELLA, L. A relevância da mediação no pensamento de Bruno Latour. In: ALZAMORA, G.; ZILLER, J.; COUTINHO, F. A. (Org.). **Dossiê Bruno Latour**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2021. p.141-177.

CHEVALLARD, Y. **La Transposición didáctica**. Buenos Aires: Aique, 2005.

CORAZZA, S. M. Labirintos da pesquisa, diante dos ferrolhos. In: COSTA, M. V. (Org.). **Caminhos Investigativos**: novos olhares na pesquisa em educação. Rio de Janeiro: DP&A, 2002. p.105-132.

CORRÊA, H. E. R. **Controvérsias, actantes e atuações**: Um estudo do processo de transição para a flexibilização curricular. 2021. 135f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

COSTA, T. Q., ARRUDA, S. M.; PASSOS, M. M. Uma aplicação da concepção adaptativa do laboratório didático no ensino de física. **Experiencias em Ensino de Ciências**, Cuiabá, v. 15., n. 2, p. 89-105, 2020. Disponível em: https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID716/v15_n2_a2020.pdf. Acesso em: 17 ago. 2020.

DANGUI, A. C. M. **A teoria ator-rede e o ensino de ciências no Brasil**: Uma revisão sistemática dos artigos publicados nos últimos 20 anos. 2022. 144f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2022.

DECUPERE, M. Visual Network Analysis: a qualitative method for researching sociomaterial practice. **Qualitative Research**, Londres, v. 20, n. 1, p. 73-90, 2020. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1468794118816613>. Acesso em: 18 jul. 2022.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de Ciências:** fundamentos e métodos. São Paulo: Cortez, 2011.

EVERETT, M. C.; BARRET, M. S. "Guided tour": a method for deepening the relational quality in narrative research. **Qualitative Research**, Londres, v. 12, n. 1, p. 32-46, 2012. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/14439881211222714/full/html>. Acesso em: 15 dez. 2022.

FARY, B. A.; POLIZEL, A. L; OLIVEIRA, M. A.; SAVIOLI, A. M. P. D. Modos de (re)pensar a experimentação e seus ensinos. **Revista Valore**, Volta Redonda, v. 6, n. 3, p. 263-276, 2021. Disponível em: <https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/805>. Acesso em: 07 jul. 2022.

FENWICK, T.; EDWARDS, R. **Actor network theory in education**. Londres: Routledge, 2010.

FENWICK, T.; EDWARDS, R. Considering materiality in educational policy: messy objects and multiple reals. **Educational Theory**, Illinois, v. 61, n. 6, p. 709-726, 2011. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1741-5446.2011.00429.x>. Acesso em: 06 jan. 2023.

FILHO, J. B. R; SALAMI; M. A.; HILDEBRAND, V. Construção e caracterização de uma célula fotoelétrica para fins didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 555-561, 2006. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol16-Num2/a13.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2021.

FRANCISCO JUNIOR, W. E.; SANTOS, C. M. dos; YAMASHITA, M. Laboratório escolar: percursos e percalços durante o estágio supervisionado numa escola pública. **Revista Cocar**, Belém, v. 13, n. 27, p. 179-202, 2019. Disponível em: <https://periodicos.uepa.br/index.php/cocar/article/view/2830/1248>. Acesso em: 20 jan. 2023.

FREIRE, L. de L. Humanos, não-humanos...ação! In: ALZAMORA, G.; ZILLER, J.; COUTINHO, F. A. (Org.). **Dossiê Bruno Latour**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2021. p. 113-139.

GALLIAZI, M. do C.; ROCHA, J. M. B.; SHCMITZ, L. C.; SOUZA, M. L; GIESTA, S.; GONÇALVES, F. P. Objetivos das atividades experimentais no Ensino Médio: a pesquisa coletiva como modo de formação de professores de ciências. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 249-263, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/xJ9FZcqBpg8NKq3KyZNs3Hk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 01 jul. 2022.

GAMA, L. D.; ZANETIC, J. Abrindo caixas pretas em aulas de física: uma reflexão educacional a partir dos conceitos de Bruno Latour. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, XX., 2013, São Paulo. **Anais eletrônicos**. São Paulo: BDPI-USP, 2013. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002434406>. Acesso em: 05 jun. 2020.

GIBSON, J. **The Ecological Approach to Visual Perception**. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1986.

GOWIN, D. B.; ALVAREZ, M. **The art of educating with V diagrams**. Nova York: Cambridge University Press, 2005.

GREIMAS, A. J.; COURTÉS, J. **Dicionário de Semiótica**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2008.

HARRÉ, R. The Materiality of Instruments in a Metaphysics for Experiments. In: RADDER, H. **The Philosophy of Scientific Experimentation**. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2003. p. 19-38.

HOSOUME, Y. 30 anos do grupo de reelaboração do Ensino de Física (GREF). In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, XXI., 2015, São Paulo. **Anais eletrônicos**. São Paulo: BDPI-USP, 2015. Disponível em: <https://sec.sbfisica.org.br/eventos/snef/xxi/sys/resumos/T0150-18.pdf>. Acesso em: 16 dez. 2022.

JOY, J. Reinvigorating object biography: reproducing the drama of object lives. **World Archaeology**, Londres, v. 41, n. 4, p. 540-556. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00438240903345530>. Acesso em 19. nov. 2021.

KALTHOFF, H., ROEHL, T. Interobjectivity and interactivity: material objects and discourse in class. **Human Studies**, [S.I.], v. 34, n. 4, p. 451-469, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10746-011-9204-y>. Acesso em: 06 jan. 2023.

LABURÚ, C. E. Seleção de experimentos de física no Ensino Médio: uma investigação a partir da fala dos professores. **Investigação em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, 2005. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/515/312>. Acesso em: 02 jul. 2022.

LABURÚ, C. E.; MAMPRIN, M. I. L. L; SALVADEGO, W. N. C. **Professor das ciências naturais e a prática de atividades experimentais no Ensino Médio**: uma análise segundo Charlot. Londrina: Eduel, 2011.

LAGANÁ, C. Estudo de raios cósmicos utilizando uma câmara de nuvens de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, v. 33, n. 3, p. 3302-1-3302-5, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/BPjLyHd7KkMrfRDQTZTj64N/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 out. 2019.

LATOUR, B. **A esperança de Pandora**: ensaio sobre a realidade dos estudos científicos. Bauru: EDUSC, 2001.

LATOUR, B.; WOOLGAR, S. **A vida de laboratório**: a produção dos fatos científicos. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1997.

LATOUR, B. **Ciência em Ação**: como seguir cientistas e engenheiros sociedade afora. São Paulo: Editora UNESP, 2000.

LATOUR, B. **Cogitamus**: seis cartas sobre as humanidades científicas. São Paulo: Editora 34, 2016.

LATOUR, B. **Investigación sobre los modos de existència**: una antropología de los modernos. Buenos Aires: Paidós, 2013.

LATOUR, B. **Jamais fomos modernos**: ensaio de antropologia simétrica. São Paulo: Editora 34, 2019.

LATOUR, B. On technical mediation – philosophy, sociology, genealogy. **Common Knowledge**, Durham, v. 3, n. 2, p. 29-64, 1994. Disponível em: <http://www.bruno-latour.fr/sites/default/files/54-TECHNIQUES-GB.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2021.

LATOUR, B. **Reagregando o social**. Salvador: EDUFBA- Edusc, 2012.

LATOUR, B. Situação de guerra, não de pedagogia: entrevista com Bruno Latour *In:* ALZAMORA, G.; ZILLER, J.; COUTINHO, F. A. (Org.). **Dossiê Bruno Latour**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2021. p.97-109.

LAW, J. Teoria ator-rede e semiótica material. *In:* ALZAMORA, G.; ZILLER, J.; COUTINHO, F. A. (Org.). **Dossiê Bruno Latour**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2021. p.37-66.

LAWLER, S. Narrative in social research. *In:* MAY, T. (Ed.). **Qualitative Research in Action**. Londres: Sage, 2002. p. 242-258.

LÉCAILLE, P. Simulação numérica e experimentação: dois modos de produção de conhecimentos. *In:* VINCK, D (Org.). **Engenheiros no Cotidiano**: etnografia da atividade de projeto e de inovação. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2013. p. 171-192.

LEMOS, A. **A comunicação das coisas**: teoria ator-rede e cibercultura. São Paulo: Annablume, 2013.

MACIEL, O. S. R. D. **Notas de aula sobre Bruno Latour e a Teoria do Ator-Rede**. Compilado de roteiros didáticos disponibilizados no Academia.edu – UnB. Brasília, 2021. Disponível em: [https://www.academia.edu/54661566/Roteiros_sobre_de_Latour_e_da_Teoria do Ator Rede](https://www.academia.edu/54661566/Roteiros_sobre_de_Latour_e_da_Teoria_do_Ator_Rede). Acesso em: 15 jul. 2022.

MARQUES, F. C. **Minicurso de fabricação de células solares e módulos fotovoltaicos**. Mar. 2014. Disponível em: <https://www.iei-brasil.org/pdf/4inovafvminicursofrancisco.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2021.

MARQUES, N. L. R.; ORENGO, G. Contribuições das disciplinas experimentais da licenciatura em física para a formação dos saberes docente. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, Passo Fundo, v. 4, n. 1, p. 292-313, 2021. Disponível em: <http://seer.upf.br/index.php/rbecm/article/view/12246>. Acesso em: 13 jan. 2023.

MCGREGOR, J. Spatiality and the place of the material in schools. **Pedagogy, Culture and Society**, Londres, v. 12, n. 3, p. 347-372, 2004. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ940211>. Acesso em: 05 jul. 2022.

MELO, M. F. A. Q. A pipa e os quatro significados da mediação sociotécnica: articulações possíveis entre a Educação e a Psicologia para o estudo de um brinquedo. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S.I.], v. 10, n. 2, p. 97-115, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/3982>. Acesso em: 08 fev. 2022.

MELO, M. F. A. Q.; SILVA, M. A.; ALBUQUERQUE, E. P. T; RAMOS, L. T. M; GONÇALVES, D. E. S.; OLIVEIRA, M. H.; MIRANDA, G.C. Sucata vira brinquedo: tradução a partir de restos. **Psicologia & Sociedade**, [S.I.], v. 19, n. 2, p. 114-121, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/psoc/a/Y5mzPwV64JSGM6bgJNz3MZy/?lang=pt>. Acesso em 28 dez. 2021.

MNPEF, 2022. Apresentação. Disponível em: <http://www.www1.fisica.org.br/mnpef/>. Acesso em: 28 jul. 2022.

MOL, A. Política ontológica: algumas ideias e várias perguntas. In: NUNES, J. A.; ROQUE, R. (Org.). **Objetos impuros**: experiências em estudos sociais da ciência. Porto: Edições Afrontamento, 2008. p. 63-78.

MOREIRA, M. A. **Subsídios didáticos para o professor pesquisador em ensino de ciências**: Mapas conceituais, diagramas V, organizadores prévios, negociação de significados e unidades de ensino potencialmente significativas. Porto Alegre: UFRGS, 2016.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 32, n. 94, p. 73-80, 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/3JTLwqQNsWPqr6hjzyLQzs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 25 ago. 2022.

NIMMO, R. Actor-network theory and methodology: social research in a more-than-human world. **Methodological Innovations Online**, Manchester, v. 6, n. 3, p. 108-119, 2011. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.4256/mio.2011.010>. Acesso em: 19 dez. 2022.

OLIVEIRA, M. A. **Os laboratórios de química do Ensino Médio**: um olhar na perspectiva dos estudos culturais das ciências. Londrina: EDUEL, 2009.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. **Diretrizes Curriculares de Física para o Ensino Médio**. Curitiba: SEED, 2008. Disponível em: https://www.educacao.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2019-12/dce_fis.pdf. Acesso em: 20 jan. 2023.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. **Caderno de Expectativas de Aprendizagem**. Curitiba: SEED, 2012. Disponível em:

http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/diretrizes/caderno_expectativa_s.pdf. Acesso em: 16 dez. 2022.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. **Orientações para utilização do laboratório escolar de ciências da natureza**. Curitiba: SEED, 2013. Disponível em: http://www.biologia.seed.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/cadern_lab_2013.pdf. Acesso em: 16 dez. 2022.

PEREIRA, F. A. S.; OLIVEIRA, M. A. S. **Laboratórios de energia solar fotovoltaica**. Porto: Publindústria, 2011.

QUEVEDO, M. Verticalização nos IFs. Concepção(ões) e desafios. In: FRIGOTTO, G. (Org.). **Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia**: Relação com o Ensino Médio integrado e o projeto societário de desenvolvimento. Rio de Janeiro: UERJ-LPP, 2018. p. 225-238.

REZZADORI, C. B. D. B; OLIVEIRA, M .A. A rede sociotécnica de um laboratório de química do ensino médio. **Experiências em Ensino de Ciências**, Cuiabá, v. 6, n. 3, p. 16-37, 2011. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/401/373>. Acesso em: 17 jan. 2023.

REZZADORI, C. B. D. B; OLIVEIRA, M .A. Educação química e pensamento latouriano: uma possível articulação. **Actio**: Docência em ciências, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 224-247, 2018. Disponivel em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/actio/article/view/6860/4922>. Acesso em: 14 jul. 2022.

REZENDE, S. M. **Materiais e dispositivos eletrônicos**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.

RHEINGANTZ, P. A. **Glossário de termos e métodos de pesquisa grupo lugares e paisagens (ProLUGAR)**, Rio de Janeiro, [s.n.], 2022. Disponível em: https://www.academia.edu/28712280/GLOSS%C3%81RIO_DE_TERMOS_DE_FILOSOFIA_E_DE_M%C3%89TODOS_DE_PESQUISA. Acesso em: 18 jul. 2022.

RIBEIRO, T. V.; SILVANO, C. M.; SANTOS, A. T.; GENOVESE, L. G. R. O Experimento como um Rede Estabilizada: associações, negociações e algumas implicações na Educação em Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 38, n. 1, p. 108-138, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/65907>. Acesso em: 15 abr. 2021.

RIBEIRO, P. T. de C.; LIMA, M. R. de. Teoria Ator-Rede e educação: uma revisão sistemática. **EDUCAÇÃO em FOCO**, Juiz de Fora, v. 27, n. 1, p. 1-18, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/edufoco/article/view/37321>. Acesso em: 09 dez. 2022.

ROEHL, T. From witnessing to recording: material objects and the epistemic configuration of science classes. **Pedagogy, Culture & Society**, Londres, v. 20, n. 1, p. 49-70, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/14681366.2012.649415>. Acesso em 21 set. 2022.

SALGADO, T. B. P. **Fundamentos pragmáticos da teoria ator-rede para análise de ações comunicacionais em redes sociais online.** 2018. 292f. Tese (Programa de Pós-Graduação em comunicação social) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

SALGADO, T.; ALZAMORA, G.; ZILLER, J. O sentido comunicacional da hifenização “ator-rede”. In: ALZAMORA, G.; ZILLER, J.; COUTINHO, F. A. (Org.). **Dossiê Bruno Latour.** Belo Horizonte: Editora da UFMG, 2021. p.249-278.

SANMARTÍ, N. **Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria.** Madrid: Síntesis, 2002.

SANTOS, V. M. de F. **Abrindo a caixa-preta de uma sequência didática:** uma análise ator-rede da aprendizagem profissional docente de um professor de biologia. 2016. 178f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Educação) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016.

SILVA, T. R. Banco óptico de baixo custo. **Física na Escola**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 15, 2004. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol05-Num1/v5n1a041.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2022.

SIMPSON, T. Following the action: using actor-network theory and conversation analysis. **New Zealand Sociology**. Porirua, v. 22, n. 1, p. 28-47, 2007. Disponível em <https://www.nzsociology.nz/index.php/nzs>. Acesso em: 19 dez. 2022.

SØRENSEN, E. **The Materiality of Learning:** Technology and Knowledge in Educational Practice. Nova Iorque: Cambridge University Press, 2009.

SOUZA, A. C; BROIETTI, F. C. D.; ARRIGO, V. Atividade experimental no ensino de ciências: algumas considerações. In: BROIETTI, F.C.D.; ARRIGO, V. (Org.). **Proposta de atividades experimentais para o ensino de química I.** Londrina: Eduel, 2021. p.11-19.

TOGINHO FILHO, D. O.; LAURETO, E. Curva característica de célula solar. In: TOGINHO FILHO, D.O.; LAURETO, E. (Ed.). **Catálogo de Experimentos do Laboratório Integrado de Física Geral.** Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2010.

VIANNA, D.; CARVALHO, A. M. P. Do fazer ao ensinar ciência: a importância dos episódios de pesquisa na formação de professores. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 111-132, 2001. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/580/pdf>. Acesso em: 06 jan. 2023.

VINCK, D. A complexidade sociotécnica: o caso do reprojeto de uma parede de blindagem. In: VINCK, D (Org.). **Engenheiros no Cotidiano:** etnografia da atividade de projeto e de inovação. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2013a. p.17-34.

VINCK, D. Epílogo: posturas para uma etnografia das técnicas. In: VINCK, D (Org.). **Engenheiros no Cotidiano:** etnografia da atividade de projeto e de inovação. Belo Horizonte: Fabrefactum, 2013b. p.273-305.

WOODWARD, S. **Material Methods**: Researching and Thinking with Things. Londres: Sage, 2020.